

# **METODOLOGIA PARA A CRIAÇÃO DE UMA REDE PRIMÁRIA DE FAIXAS DE GESTÃO DE COMBUSTÍVEL EM PORTUGAL CONTINENTAL**

Ricardo João Lino de Almeida

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais**

Área de especialização: Gestão Florestal e de  
Recursos Naturais

Orientadores: Professor José Miguel Oliveira Cardoso Pereira

Doutor Yannick Lucien Bernard Le Page

## **Júri:**

Presidente:

PhD Maria da Conceição Brálio de Brito Caldeira, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais:

PhD João Manuel das Neves Silva, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor Yannick Lucien Bernard Le Page.

Lisboa, 2019

## **Agradecimentos**

Ao meu Orientador, José Miguel Cardoso Pereira, por ter sugerido este tema e pelas contribuições e sugestões dadas.

Ao meu Coorientador, Yannick Le Page, por toda a ajuda dada ao longo do processo da tese, e pelas valorosas sugestões e contribuições para o melhoramento deste trabalho.

À equipa do Laboratório de Detecção Remota e Análise Geográfica do Instituto Superior de Agronomia, pela amizade e apoio prestados.

À minha família e amigos pelo apoio e ajuda ao longo de todo o percurso que efetuei até agora.

Ainda uma menção à parceria entre o Banco Santander Universidades e o Instituto Superior de Agronomia por me terem atribuído o prémio de incentivo ao mestrado, pelo mérito dado a todo o trabalho que efetuei durante a licenciatura.

## Resumo

A ocorrência de incêndios de grandes dimensões é cada vez mais comum em Portugal, causando danos económicos, sociais e ao nível do património natural. A compartimentação da paisagem é uma das estratégias principais para impedir a propagação de grandes incêndios, tendo sido definida para o efeito uma rede primária de faixas de gestão de combustível para Portugal. Estas faixas, de 125 metros de largura, são importantes para o combate ao fogo de forma eficaz e segura, sendo a carga de combustíveis reduzida. Contudo, esta rede primária só foi definida para algumas regiões definidas, deixando de fora áreas vulneráveis a grandes incêndios.

Neste estudo, através de sistemas de informação geográfica, foi definida uma rede primária para o resto do país, usando dados topográficos para definir as bacias hidrográficas e daí os segmentos potenciais de rede. A relevância de cada segmento foi calculada para temas relativos ao regime de fogo; população; ocupação do solo; áreas de alto valor natural e o valor florestal económico da área envolvente ao segmento. Foi de seguida calculado um índice de prioridade integrando estas variáveis, através de uma análise multicritérios com uma ponderação destes temas.

Com estes dados, foram definidos quais os segmentos de maior prioridade que constituem a rede primária estruturante. As áreas de maior prioridade encontram-se na região Norte e Centro Litoral, associadas a elevadas quantidades de ignições; de combustíveis e abrangendo uma elevada população na sua área de influência.

A rede existente e a rede aqui definida podem no futuro ser conectadas entre si em diversos pontos, facilitando a contenção da propagação de grandes incêndios e permitindo a proteção das populações, contribuindo para a minoração dos efeitos devastadores de incêndios rurais de grande dimensão em Portugal Continental.

**Palavras-chave:** faixas de gestão de combustível, rede primária, incêndios florestais, sistemas de informação geográfica, ocupação do solo

## **Abstract**

The occurrence of large size fires is increasingly common in Portugal, causing economic, social and natural heritage damage. Landscape partitioning is one of the main strategies to stop the spread of large size fires, having been defined a primary fuel break network for Portugal. These fuel breaks, 125 m wide and with little vegetation, are key areas for effective and safe fire fighting operations. However, this primary network has only been defined for some defined regions, leaving several areas vulnerable to major fires.

In this study, using geographic information systems, a primary fuel break network was defined for the remaining Portugal area, using topographical data to delineate watersheds and extract their borders as potential network segments. The relevance of each segment was calculated for thematic criteria related to fire regimes; populations; landcover; natural and economic value of soil occupancy in the surrounding areas of the segment. An integrated priority index was then calculated by joining all the variables created, through a multicriteria analysis with a weighing of these criteria.

Based on this analysis, segments with a high priority were selected to integrate the national fuel network. Areas with higher priority were identified in the Northern and Central coastal areas, associated to high populations, frequent fire ignitions, and highly flammable landscapes.

The existing network and the one defined in this work can, in the future, be connected in several locations, facilitating the containment of spread in bigger burned areas and contributing to a better protection of people, economical, and ecological assets threatened by the devastating effects of large fires in Continental Portugal.

**Key words:** fuel break, primary fuel break network, forest fires, Geographic Information Systems, soil occupancy

## Índice

<b>Agradecimentos</b>	i
<b>Resumo</b>	ii
<b>Abstract</b>	iii
<b>Índice</b>	iv
<b>Lista de Quadros</b>	viii
<b>Lista de Figuras</b>	ix
<b>Lista de Abreviaturas e Acrónimos</b>	xi
<b>Lista de Anexos</b>	xiii
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1. O fogo – conceitos básicos	1
1.2. Incêndios florestais em Portugal	1
1.3. Gestão de combustíveis à escala da paisagem	4
1.4. Faixas de gestão de combustível e parcelas de gestão de combustível	6
1.5. Rede primária	8
1.6. Legislação em Portugal	9
1.7. Rede Primária criada em Portugal	9
<b>2. Projeto de redimensionamento da Rede Primária inicial proposta pelo ICNF</b>	<b>11</b>
2.1. Contexto	11
2.2. Rede original e alteração do seu desenho	11
2.3. Extração de variáveis e criação do índice de prioridade	11
2.4. Custos e otimização da rede	12
2.5. Rede estruturante do ICNF	13
2.6. Análise da Rede estruturante do ICNF	14
<b>Criação de uma rede primária de FGC para Portugal Continental</b>	
<b>1. Área de estudo</b>	<b>15</b>
<b>2. Dados</b>	<b>17</b>
2.1. Nomenclatura	17
2.2. Dados usados para a definição da Rede Primária Estruturante da fase 2 e construção dos índices integrados	18
2.2.1. Rede Primária do ICNF	18
2.2.2. Limites de Portugal Continental	18
2.2.3. Morfologia	18

2.2.4. Incêndios .....	19
2.2.5. Classes de Ocupação do solo.....	19
2.2.6. Orientação do vento em dias de alto risco de incêndio.....	19
2.2.7. Áreas de interesse ecológico.....	20
2.2.8. Matas e perímetros florestais .....	20
2.2.9. Valor e vulnerabilidade dos matos e florestas .....	20
2.2.10. Dados numéricos dos custos de indemnização.....	21
2.2.11. Dados dos custos de execução e manutenção.....	21
2.3. Outros dados .....	22
2.3.1. População e edifícios na área de influência .....	22
2.3.2. Rede de estradas .....	22
3. Métodos .....	23
3.1. Processo de definição dos segmentos .....	24
3.1.1. Ficheiro de bacias hidrográficas .....	24
3.1.2. Limpeza do ficheiro das bacias.....	24
3.1.3. Definição dos segmentos .....	24
3.1.4. Área de extração das variáveis para cada segmento .....	24
3.2. Variáveis de priorização .....	25
3.2.1. Tema do Fogo .....	25
3.2.1.1. Variável 1 – Área ardida acumulada de atravessamento (Código Atrav) .....	25
3.2.1.2. Variável 2 – Percentagem de área de influência ardida (Código Pard).....	25
3.2.1.3. Variável 3 – Densidade de ignição na área de influência (Código Ign) .....	25
3.2.1.4. Variável 4 – Orientação em relação ao vento dominante em dias de alto risco (Código Vag).....	26
3.2.2. Tema do combustível .....	26
3.2.2.1. Variável 5 – Percentagem de coberto combustível na área de influência (Código Comb) .....	26
3.2.3. Tema do perigo para a população.....	26
3.2.3.1. Variável 6 – Percentagem da área de influência com coberto combustível a < 500 metros de áreas urbanas (Código Urb) .....	26
3.2.4. Tema do valor económico .....	27
3.2.4.1. Variável 7 – Dano potencial florestal na área de influência (Código Dano).....	27
3.2.5. Tema do valor ecológico.....	27
3.2.5.1. Variável 8 – Valor de conservação da floresta na área de influência (Código Cons) ...	27
3.2.5.2. Variável 9 – Percentagem da área de influência classificada (Código Class) .....	28
3.3. Variáveis de custos .....	28

3.3.1. Variável 10 – Custo de indemnização (Código CosInd) .....	28
3.3.2. Variável 11 – Custo de execução e manutenção (Código CosExMa) .....	29
3.4. Definição das ponderações para as variáveis e temas para o cálculo da prioridade .....	29
3.5. Cálculo do índice de prioridade .....	32
3.6. Limiares usados para definir a rede estruturante .....	34
3.7. Índice de custo integrado e índice de custo-benefício .....	34
3.8. Rede subtraída .....	35
3.9. Algoritmo de Steiner .....	35
3.10. Criação da rede primária estruturante da fase 2 .....	36
3.11. Análise da rede obtida .....	37
3.11.1. População na área de influência .....	37
3.11.2. Tratamento do ficheiro de formas do terreno (Landforms) .....	37
3.11.3. Rede sobre zonas condicionantes à instalação da rede primária de FGC .....	38
3.11.4. Rede de estradas .....	38
3.11.5. Manchas de combustível .....	38
4. Resultados .....	39
4.1. Rede Primária .....	39
4.1.1 Rede Primária Total da fase 2 .....	39
4.1.2. Rede subtraída .....	41
4.1.3. Prioridades temáticas (Temas e variáveis) .....	43
4.1.3.1. Tema do Fogo .....	43
4.1.3.1.1. Variável 1 – Área ardida acumulada de atravessamento (Código Atrav) .....	43
4.1.3.1.2. Variável 4 – Orientação em relação ao vento dominante em dias de alto risco (Código Vag) .....	44
4.1.3.1.3. Tema do Fogo – valor total .....	45
4.1.3.2. Tema do Combustível .....	46
4.1.3.3. Tema do Perigo para a população .....	48
4.1.3.4. Tema do Valor económico .....	49
4.1.3.5. Tema do Valor ecológico .....	50
4.1.4. Rede primária estruturante .....	51
4.2. População e edifícios na área de influência .....	54
4.3. Ocupação do solo - COS2015 .....	55
4.3.1. Por megaclasses .....	55
4.3.2. Por classes .....	56
4.3.3. Por classes de floresta .....	57
4.4. Formas do terreno (Landforms) .....	57

4.5. Rede sobre zonas condicionantes à instalação da rede primária de FGC.....	58
4.6. Declive .....	59
4.7. Rede de estradas .....	60
4.8. Manchas de combustível.....	61
4.9. Junção das 2 redes primárias estruturantes .....	62
4.10. Custos totais .....	64
5. Discussão .....	65
5.1. Análise da rede obtida.....	65
5.1.1. Distribuição pela área de estudo.....	65
5.1.1.1. Prioridades temáticas e índice de prioridade integrado .....	65
5.1.1.2. Rede Primária Estruturante.....	65
5.1.1.3. Complementaridade com rede estruturante do ICNF .....	66
5.1.2. Proteção das populações .....	67
5.1.3. Custos .....	67
5.2. Limitações.....	68
5.2.1. Dados.....	68
5.2.2. Metodologia .....	68
5.2.3. Importância excessiva em zonas de fogo controlado .....	69
5.2.4. Zonas condicionantes.....	69
5.2.5. Rede de estradas .....	69
5.2.6. Outros rendimentos .....	70
5.2.7. Alterações futuras das variáveis de priorização.....	70
5.3. Implementação da rede primária estruturante – próximas etapas.....	71
5.3.1. Avaliação da rede primária por entidades relevantes .....	71
5.3.2. Integração das redes estruturantes da fase 1 e da fase 2.....	71
5.3.3. Alterações no desenho dos segmentos.....	71
5.3.4. Aproveitamento económico.....	72
5.3.5. Regime de propriedade e indemnizações .....	73
6. Conclusões.....	74
7. Referências Bibliográficas .....	76



## Lista de Quadros

<b>Quadro 1</b> - Rede Estruturante do ICNF: N.º; comprimento e área total dos segmentos agrupados em classes definidas pelos índices de prioridade integrados de cada segmento.....	14
<b>Quadro 2</b> - Dano e vulnerabilidade .....	21
<b>Quadro 3</b> - Custos de indemnização .....	21
<b>Quadro 4</b> - Custos de execução e manutenção .....	22
<b>Quadro 5</b> - Rede subtraída: N.º; comprimento e área total dos segmentos agrupados em classes definidas pelos índices de prioridade integrado de cada segmento.....	42
<b>Quadro 6</b> - Rede Estruturante: N.º; comprimento e área total dos segmentos, agrupados em classes definidas pelos índices de prioridade integrado de cada segmento.....	51
<b>Quadro 7</b> - Indicadores estatísticos (2011) para as duas redes primárias estruturantes .....	54
<b>Quadro 8</b> - Área e importância relativa da ocupação do solo da Rede Primária Estruturante da fase 2.. .....	55
<b>Quadro 9</b> - Distribuição da área ocupada (hectares) por classes de declive e seu peso relativo, associada aos 125 m em redor dos segmentos .....	60
<b>Quadro 10</b> - Densidade de rede de estradas (km/ha) .....	60
<b>Quadro 11</b> - 2 redes primárias estruturantes: N.º; comprimento e área total dos segmentos agrupados em classes definidas pelos índices de prioridade integrado de cada segmento .....	64

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Incidência do fogo nos países do Sul da Europa (Portugal; Espanha; França; Itália e Grécia) para o período 1980-2017. Fonte: EFFIS.....	2
<b>Figura 2</b> - Área ardida em Portugal (áreas em hectare), 1980-2017, com linha de tendência.....	2
<b>Figura 3</b> - A - Número de ignições por hectare, por município no período 2001-2017; B - Nº de vezes ardido no período 1975-2017. ....	3
<b>Figura 4</b> - Rede de Defesa da Floresta. Fonte: Pinho <i>et al.</i> , 2006 .....	6
<b>Figura 5</b> - Rede Primária desenvolvida pelo ICNF .....	10
<b>Figura 6</b> - Projeto de redimensionamento otimizado: A - Rede primária estruturante e não estruturante; B - Índice de prioridade integrado da rede total e rede estruturante.....	13
<b>Figura 7</b> - Megaclases de Ocupação do Solo (COS2015) .....	15
<b>Figura 8</b> - Área de estudo e Altimetria de Portugal Continental.....	16
<b>Figura 9</b> - Esquema representativo do processo metodológico .....	23
<b>Figura 10</b> - Exemplo do processo de definição das ponderações para as variáveis do tema Fogo. ....	31
<b>Figura 11</b> - Ponderações para as variáveis 1 a 4, resultantes do processo da figura 10.....	31
<b>Figura 12</b> - Esquema de ponderação com os 5 temas e 9 variáveis usadas para cálculo do índice de prioridade integrado .....	32
<b>Figura 13</b> - Esquema gráfico da programação composta, com A=alternativas e L=métrica de distância. Fonte: Prodanovic e Simonovic, 2003 .....	32
<b>Figura 14</b> - Comparação do ficheiro de formas do terreno original (à esquerda) com a opção de análise de maioria escolhida ( <i>kernel</i> 5x5), para a região de Figueira da Foz (Centro de Portugal) .....	37
<b>Figura 15</b> - Rede primária total classificada por classes de índice de prioridade integrada (5 classes- 0 a 0.2; 0.2 a 0.4; etc.) .....	40
<b>Figura 16</b> - Rede subtraída para a totalidade de Portugal Continental .....	41
<b>Figura 17</b> - Variável 1 (Atrav) com valor relativo (0-1) normalizado .....	43
<b>Figura 18</b> - Variável 4 (Vag) com valor relativo (0-1) normalizado .....	44
<b>Figura 19</b> - Tema do Fogo classificado por valor relativo (0-1) normalizado .....	45
<b>Figura 20</b> - Tema do Combustível classificado por valor relativo (0-1) normalizado.....	46
<b>Figura 21</b> - Tema do Perigo para a população classificado por valor relativo (0-1) normalizado.....	48
<b>Figura 22</b> - Tema do Valor económico classificado por valor relativo (0-1) normalizado .....	49
<b>Figura 23</b> - Tema do Valor ecológico classificado por valor relativo (0-1) normalizado .....	50
<b>Figura 24</b> - Índice de prioridade integrado para a Rede Primária Estruturante .....	52
<b>Figura 25</b> - Rede estruturante: Valor médio do índice de custo integrado para as diferentes classes de intervalo do índice de prioridade integrado .....	53

<b>Figura 26</b> - Área (hectares) e percentagem da área total para todas as classes na área de 125 metros da rede primária estruturante .....	56
<b>Figura 27</b> - Classes de floresta de COS2015, classificadas por pesos relativos sobre o total da área florestal.....	57
<b>Figura 28</b> - Formas do terreno para o norte do distrito de Aveiro. ....	58
<b>Figura 29</b> - Tipos de condicionantes na Rede Primária Estruturante (os valores numéricos estão em unidades de área, correspondentes a hectares) .....	59
<b>Figura 30</b> - Manchas de combustível, cruzadas com a rede primária estruturante .....	62
<b>Figura 31</b> - Rede primária estruturante total para Portugal Continental .....	63
<b>Figura 32</b> - Ampliação local das formas do terreno (Região de Coimbra) .....	72

## Lista de Abreviaturas e Acrónimos

°C – graus Celsius

**AGIF** - Agência para a Gestão Integrada de Fogos Rurais

**AHP** - *Analytical Hierarchy Process*

**CAOF** - Comissão de Acompanhamento de Operações Florestais

**CAOP** - Carta Administrativa Oficial de Portugal

**CB** - custo-benefício

**CEABN** - Centro de Ecologia Aplicada "Prof. Baeta Neves"

**CEF** - Centro de Estudos Florestais

**CIM** - Comunidade Intermunicipal

**COS2015** - Carta de Ocupação do Solo de 2015

**CR** - *Consistency Ratio*

**DFCI** - Defesa da Floresta Contra Incêndios

**DGF** - Direcção-Geral da Floresta

**e.g.** - *exempli gratia*, por exemplo

**EDP** - Energias de Portugal

**EEA** - *European Economic Area*

**EFFIS** - *European Forest Fire Information System*

**ENVI** - *Environment for Visualizing Images*

**et al.** - *et alli*, e outros

**EU-DEM** - *Digital Elevation Model over Europe*

**FGC** - Faixa de Gestão de Combustíveis

**FWI** - *Fire Weather Index*

**GRASS** - *Geographic Resources Analysis Support System*

**ha** - hectares

**ICNF** - Instituto da Conservação da Natureza e Florestas

**INE** - Instituto Nacional de Estatística

**IPMA** - Instituto Português do Mar e da Atmosfera

**ISA** - Instituto Superior de Agronomia

**km** - quilómetros

**km<sup>2</sup>** - quilómetro quadrado

**LDRAG** - Laboratório de Detecção Remota e Análise Geográfica

**m** - metros

**MDT** - Modelo Digital do terreno

**N** - Norte

**NUTS** - Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins estatísticos

**PDR2020** - Programa de Desenvolvimento Rural de Portugal - Continente (2014 - 2020)

**PMDFCI** - Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios

**POSEUR** - Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso dos Recursos

**QGIS** - Quantum GIS

**RDF** - Rede de Defesa da Floresta

**RP** - Rede Primária

**RPFGC** - Rede Primária de Faixas de Gestão de Combustível

**SIC** - Sítios de Importância Comunitária

**SIG** - Sistema de Informação Geográfica

**t** - toneladas

**UNESCO** - *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

**W** - Oeste

**ZIF** - Zona de Intervenção Florestal

**ZPE** - Zonas de Proteção Especial

## Lista de Anexos

<b>ANEXO 1</b> - Classificação das Formas do terreno (Landforms) .....	82
<b>ANEXO 2</b> - Classes e megaclasses da COS 2015 .....	83
<b>ANEXO 3</b> - Selecção das classes de estradas do Open Street Maps escolhidas para construção de variável .....	85
<b>ANEXO 4</b> - Variável 4 (Vag) – Procedimento detalhado.....	86
<b>ANEXO 5</b> - Programação Composta aplicada à rede primária FGC.....	88
<b>ANEXO 6</b> - Intervalos de normalização e valores absolutos (mínimo; máximo; média e mediana) por variável .....	90
<b>ANEXO 7</b> - Fórmulas de cálculo dos sub-índices de prioridade integrada .....	91
<b>ANEXO 8</b> - Mapas das variáveis e dos temas (fase 2 – não incluídas nos Resultados) .....	92
<b>ANEXO 9</b> - Classes da COS 2015 por área de ocupação da rede Primária Estruturante da Fase 2 .....	96

# 1. Introdução

## 1.1. O fogo – conceitos básicos

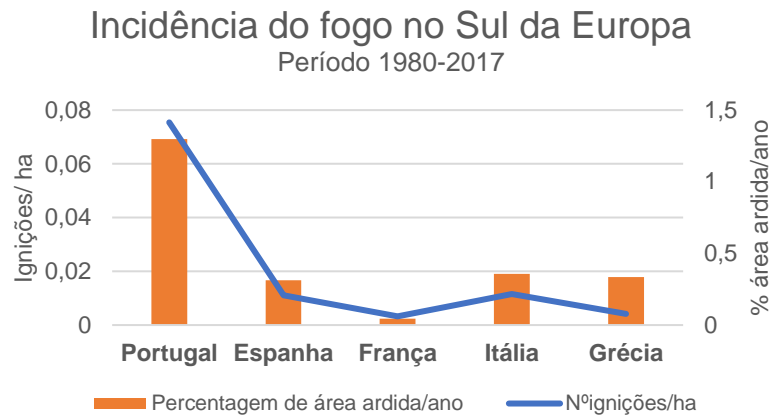
O fogo é um dos principais elementos que moldam e transformam a paisagem e os ecossistemas terrestres ao longo de um período de tempo mais ou menos alargado. Porém, para que uma combustão ocorra é necessário que três fatores ocorram em simultâneo: existência de combustível; comburente e energia de ativação (Ventura e Vasconcelos, 2006). O fogo propaga-se através de processos de transmissão de calor, transferindo-se energia das partículas em combustão para outras partículas adjacentes, perpetuando o processo.

Três fatores ambientais determinam um fogo: a meteorologia, com o input decisivo da humidade do ar e a temperatura, bem como a precipitação e o vento; a topografia, em que a altitude e a orientação de uma encosta determinam o combustível existente e o comportamento do fogo; e o combustível, seja em partículas individuais ou o leito de combustível. Destes três fatores, o combustível é o único em que o Homem pode atuar com medidas de gestão (Fernandes e Botelho, 2003).

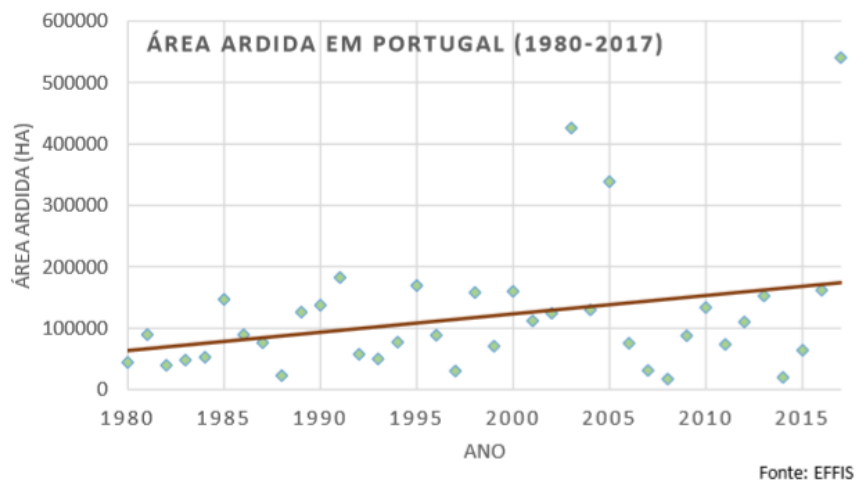
É nos ecossistemas de tipo mediterrânico que se dá uma combinação ótima entre a quantidade de combustível, resultante da acumulação de biomassa vegetal no Outono-Primavera e condições de secura provenientes do verão quente típico desta região (Pereira e Santos, 2003), originando uma elevada suscetibilidade à ocorrência de fogos de vegetação. Ao padrão dos incêndios que ocorrem numa dada paisagem dá-se o nome de regime de fogo. Este é produto da intensidade e severidade de fogos passados; das dimensões destes e da frequência histórica dos fogos (Ventura e Vasconcelos, 2006). O aumento recente da ocorrência de fogos de grandes dimensões na região mediterrânica sugere que o regime de fogo é agora dominado por processos meteorológicos e não por limitações de combustível (Pausas e Fernández-Muñoz 2012).

## 1.2. Incêndios florestais em Portugal

Portugal é o país do Sul da Europa com a maior densidade de área ardida em zonas rurais, tendo a maior média de nº de fogos; bem como área ardida, principalmente após 2000, sendo tal mais premente quando estas estatísticas são normalizadas pela área (EFFIS, 2018) (figura 1, com a comparação com dados de outros países do sul europeu). Nas últimas décadas observou-se um aumento da área média ardida anual, como visto na figura 2.



**Figura 1** - Incidência do fogo nos países do Sul da Europa (Portugal; Espanha; França; Itália e Grécia) para o período 1980-2017. Fonte: EFFIS



**Figura 2** - Área ardida em Portugal (áreas em hectares), 1980-2017, com linha de tendência.

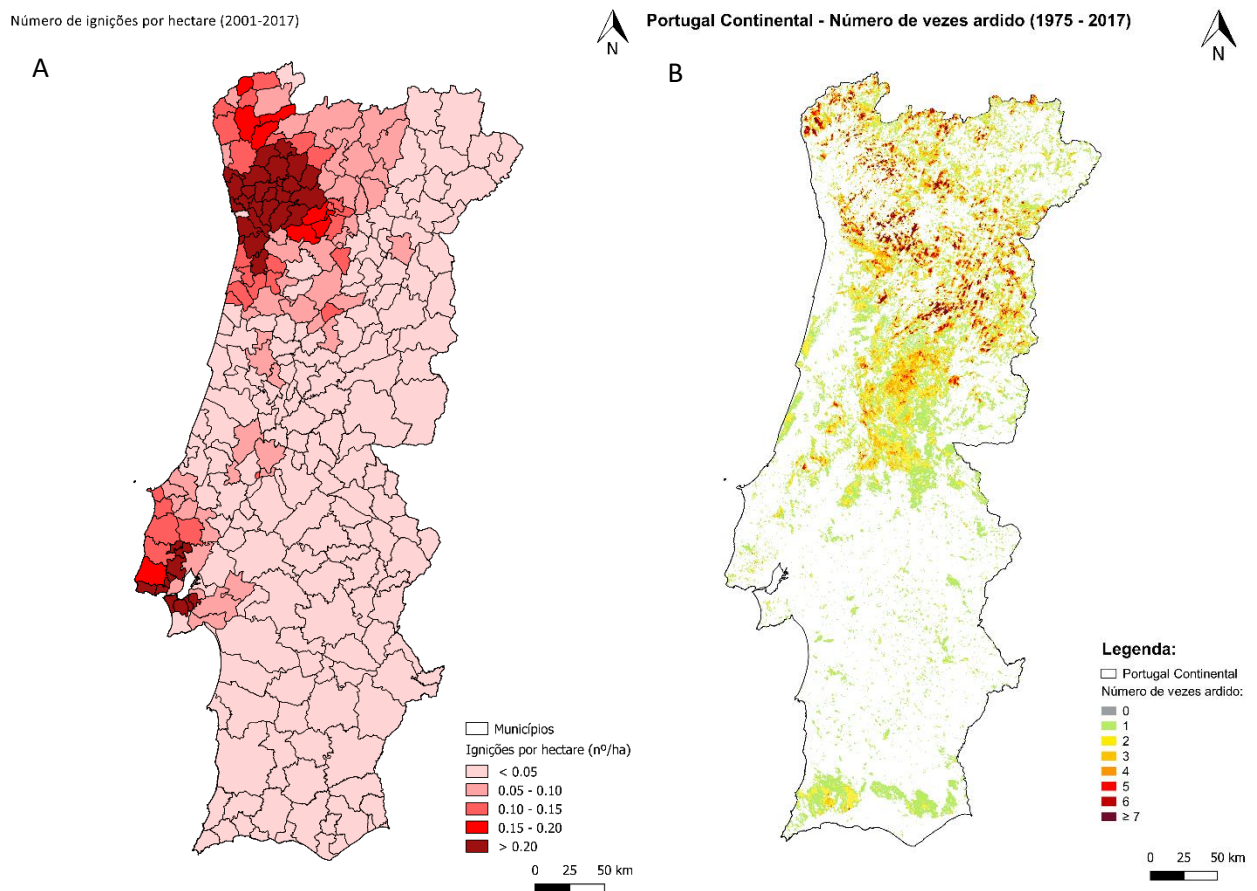
O processo do êxodo rural levou à queda populacional elevada no que se designa como interior (Marques, 2003) e ao envelhecimento da população, bem como ao aumento da quantidade de combustíveis presentes na paisagem. Tal redução originou uma maior conectividade entre manchas com elevada carga combustível, tornando as populações mais suscetíveis aos efeitos dos grandes incêndios (Guiomar *et al.*, 2006). No período 1990-2005, mais de metade da área ardida ocorreu em zonas de mato; enquanto cerca de um terço ocorreu em florestas (Pereira *et al.*, 2006), fazendo sentido o uso do termo “fogos rurais” e não só “fogos florestais”.

Sobrepondo o mapa do número de fogos com o das áreas ardidas poderemos ver uma relação inversa entre os dois: O maior número de ignições ocorre no Norte Litoral e Região de Lisboa; enquanto as maiores áreas ardidas surgem especialmente no Pinhal Interior Centro e no Barlavento Algarvio. Nas regiões litorais, a maior densidade populacional e uma maior compartimentação da



paisagem não permitem a existência de grandes incêndios, apesar do elevado número de ignições (Pereira *et al.*, 2006).

No Interior Norte e Centro há um elevado envelhecimento populacional, uma baixa densidade de habitações e pessoas, bem como extensas áreas de combustíveis não tratados. É também de referir o caso do uso do fogo para renovo de pastagens, responsável pelo elevado número de fogos, muito visível em zonas montanhosas do Norte e Centro português. A figura 3A representa as áreas com maior densidade de ignições, e a figura 3B o número de vezes, entre 1975 e 2017, em que dada área ardeu.



**Figura 3:** A - Número de ignições por hectare, por município no período 2001-2017; B - Nº de vezes ardido no período 1975-2017.

Os fogos de pequena dimensão estão bastante associados às características e quantidade de combustíveis, enquanto nos fogos de grandes dimensões as condições climáticas extremas têm um maior peso do que os combustíveis em si (Nunes *et al.*, 2005). Segundo Pereira *et al.* (2005), entre 1980 e 2000 80% da área ardida ocorreu em apenas 10% dos dias de Verão, sob condições meteorológicas muito específicas e severas. Tal concentração leva a que a alocação de meios de

combate não seja suficiente, pelo que é importante apostar na prevenção, gerindo os combustíveis florestais ou reorganizando os espaços florestais (Guiomar *et al.*, 2006).

O êxodo rural contribuiu para o processo da transição florestal (Mather e Needle, 1998), onde a expansão da área florestal foi elevada, aumentando em Portugal de 7 % em 1875 para 40% em 2000 (Mather e Pereira, 2006). Analisando especialmente a segunda metade do século XX, a rápida expansão da floresta originou uma maior uniformidade da paisagem, que levou ao aumento da área rural ardida, traduzindo-se na tendência recente de redução da área florestal portuguesa (Oliveira *et al.*, 2017), para o qual também contribuiu uma gestão muitas vezes inexistente dos combustíveis e da estrutura da paisagem.

Áreas queimadas contínuas de grande extensão têm um grande impacto nos rendimentos associados à floresta, nos solos e no ciclo hidrológico, bem como ao nível da riqueza faunística e florística (Pereira *et al.*, 2006). Estes grandes incêndios, embora sendo uma pequeníssima minoria do total de incêndios, são responsáveis por grande parte da área queimada (Strauss *et al.*, 1989) e dos danos naturais e económicos causados. Estes escapam ao ataque inicial das operações de combate, seja por um ataque pouco musculado ou devido às condições meteorológicas excecionais típicas destes eventos.

O padrão de alterações climáticas vigentes, com um agravamento das condições meteorológicas mais afetas às ocorrências de incêndios (Fernandes, 2007), tem grande influência no risco e severidade dos fogos. Durante o último século, a temperatura média anual aumentou 1,6°C na Península Ibérica, com um aumento de 2°C no Verão (Pereira e Santos, 2003), com projeções para o futuro (2080) de um aumento do nº de dias com temperaturas máximas superiores a 25°C, especialmente na Primavera e Outono, combinados com o aumento da época seca de maio a outubro (Miranda *et al.*, 2002). Tal pode causar um agravamento do risco meteorológico de incêndios e um alargamento da época de incêndios rurais.

### 1.3. Gestão de combustíveis à escala da paisagem

Existem duas escalas de gestão do combustível, a referente ao povoamento florestal/mancha de vegetação (pode ser referente a florestas ou a áreas de mato e pastagens) e a da paisagem, a escalas menores.

Para minorar as áreas dos grandes incêndios florestais, para além das operações normais da Defesa da Floresta Contra Incêndios (DFCI), como a prevenção e o combate; deverá ser aposta a implementação de uma gestão de combustíveis florestais que crie interfaces entre os espaços urbanos e rurais (Pinho *et al.*, 2006) e a aplicação do binómio combate/gestão florestal.

Tendo em conta as catastróficas épocas de fogo que têm afetado o território português, com especial destaque para 2003, 2005 e 2017 pela área ardida acima de 300 mil hectares (EFFIS, 2018 - figura 2), deve ser dada uma grande atenção ao tratamento da paisagem e gestão florestal. Esta deve basear-se na manutenção de uma paisagem mais resistente e resiliente aos incêndios florestais (Pinho, 2008), optando por instalar modelos de silvicultura adequados ao local de aplicação e apostando na silvicultura preventiva; criar redes de defesa da floresta (RDF); dar um novo quadro de usos da terra e práticas de ordenamento do território, bem como revitalizar ao nível social e económico as áreas do Norte e Centro interior.

A silvicultura preventiva à escala do povoamento é a gestão da estrutura dos combustíveis nas florestas, bem como a gestão do nível de combustibilidade e inflamabilidade das espécies num povoamento. Reduz a quantidade de biomassa arbustiva e dos andares inferiores do arvoredado e é de máxima importância, uma vez que a gestão dos combustíveis é responsável por 75% da resistência de um povoamento ao fogo (Pinho, 2008). Apesar de ter uma importância menor, a escolha de espécies com boa resistência ao fogo e regeneração vegetativa, como o sobreiro e outras folhosas autóctones também deve ser tida em conta.

O uso do fogo controlado permite substituir práticas de consumo de combustíveis em desuso, como a recolha de madeira e arbustos para aquecimento ou pastagem por animais, controlando o regime de fogo em florestas e matos mais suscetíveis (Fernandes *et al.*, 2013). Melhores resultados ocorrem em locais onde as condições de meteorologia extrema são menos frequentes e onde a propagação do fogo é controlada por obstáculos naturais ou artificiais, embora o fogo controlado deva ser aplicado em conjunto com medidas eficazes de prevenção e supressão do fogo (Fernandes e Botelho, 2003).

A Rede de Defesa da Floresta (RDF) tem como objetivo principal aplicar a estratégia regional de DFCI para reduzir a taxa anual de incidência de fogos florestais para níveis mais baixos dos que ocorrem atualmente (Pinho, 2008), contribuindo para o planeamento do território e combate à frente ou flancos dos incêndios rurais. Incluem redes de faixas de gestão de combustível (FGC), mosaicos de parcelas de gestão de combustíveis; rede viária e de pontos de água DFCI; bem como redes de vigilância e deteção de fogos. A figura 4 sintetiza estes diferentes mecanismos de defesa e apoio.



**Figura 3** - Rede de Defesa da Floresta. Fonte: Pinho *et al.*, 2006

#### 1.4. Faixas de gestão de combustível e parcelas de gestão de combustível

O controlo dos combustíveis e das ignições são essenciais para gerir tanto grandes como pequenos fogos rurais. A criação de descontinuidades horizontais na paisagem é o principal método para o controlo de combustíveis, dependendo da severidade das condições climáticas e da relação custo/benefício existente (Ventura e Vasconcelos, 2006). Já o controlo sobre ignições tem como ferramentas o alertar das populações para práticas de risco, bem como reforços de vigilância.

A criação de descontinuidades na paisagem emerge como uma ferramenta útil para estruturar os espaços florestais e redesenhar a paisagem (Guiomar *et al.*, 2006) e para o tratamento estratégico dos combustíveis florestais (Pinho, 2008). Para a mudança do padrão de combustíveis na paisagem, existe a opção de criar parcelas de gestão de combustível ou faixas de gestão de combustível (FGC). Ambas as opções se complementam, modificando os combustíveis no nível espacial.

Uma **faixa de gestão de combustíveis** é uma área definida onde é feito o tratamento ou remoção total ou parcial de combustíveis vegetais aí existentes para alterar o comportamento do fogo ao entrar na faixa, confinando o fogo em bandas que definem áreas fechadas de dimensão variável (Pinho, 2008) e com o objetivo principal de reduzir o perigo de incêndio. Podem ser usadas como pontos de apoio para o ataque tanto direto como indireto aos incêndios rurais e para o uso de fogo controlado (Agee *et al.*, 2000; Ascoli *et al.*, 2018). A redução da carga de combustível nas faixas diminui a intensidade e a taxa de propagação do fogo (Oliveira *et al.*, 2016). As FGC podem reduzir a área dos grandes incêndios rurais, mas não o dano causado na área ardida fora das faixas (Agee *et al.*, 2000).

Dentro da FGC, existem faixas de redução de combustível, onde há a remoção parcial da biomassa florestal superficial, desramações dos andares inferiores das copas e uma menor densidade dos povoamentos (Pinho *et al.*, 2006; Agee *et al.*, 2000); e faixas de interrupção de combustíveis, onde a remoção de qualquer potencial combustível é total (matos, árvores, folhada). É necessária uma manutenção frequente das FGC para manter as suas propriedades e eficácia. Pode ser feita através de fogo controlado, muitas vezes feito no fim do inverno, quando o risco de incêndio é geralmente menor.

As principais funções das FGC são as de diminuir a superfície percorrida por grandes incêndios; reduzir os efeitos da passagem destes fogos de grande dimensão, fazendo uma proteção passiva dos valores económicos e populacionais; e isolar ignições de incêndios, para o qual as faixas em redor da rede elétrica ou viária contribuem.

Existem três níveis de FGC, cada qual com a sua função e importância:

- A **rede primária** funciona ao nível sub-regional, desempenhando todas as funções das FGC acima descritas, mas atuando especialmente na redução de grandes áreas ardidas;
- A **rede secundária** funciona ao nível municipal e ocupa-se da redução dos efeitos de passagem do fogo e do isolamento de ignições;
- A **rede terciária** funciona ao nível local e contribui apenas para o isolamento e extinção das ignições a dada área restrita, estando bastante associada à rede elétrica e viária.

Já as **parcelas de gestão de combustíveis** são áreas na paisagem usadas para controlar o comportamento do fogo em escalas maiores da paisagem, tendo maior extensão que as FGC. Faz-se aí a gestão dos vários estratos de combustível e os tipos de coberto vegetal são mais diversificados, seja na sua estrutura física ou em diferentes espécies arbóreas/herbáceas (Pinho, 2008). Devem atuar associadas com as faixas de gestão de combustível, sendo apenas uma destas opções insuficiente para a redução da área e intensidade dos grandes incêndios rurais. Devem ter uma manutenção regular, podendo esta ser anual ou realizada até cada 5 anos, e que se baseie em métodos como a silvo pastorícia; desbastes; fogo controlado; agricultura; entre outros.

À escala da paisagem a gestão de combustíveis deve incidir em áreas estratégicas. Falando especialmente da rede primária de FGC, a instalação prioritária destas deve ser efetuada em zonas com acessos; em zonas planas nas cumeadas e onde ocorram barreiras naturais (Weatherspoon e Skinner, 1996); podendo funcionar como um ponto de partida para a instalação de zonas de redução de combustível (Agee *et al.*, 2000).

### 1.5. Rede primária

A Rede Primária de Faixas de Gestão de Combustível (RPFGC) poderá ser, quando aplicada de forma regular na paisagem rural, um elemento estruturante desta mesma (ICNF, 2014). As suas principais funções são as de (Ascoli *et al.*, 2018, Pinho, 2008):

- Isolar focos de ignição de fogos, contendo-os numa dada área, delimitada pela rede primária. O risco associado a zonas mais suscetíveis a ignições, como as circundantes à rede viária estruturante ou a linhas de alta tensão, fica então limitado a uma área mais restrita;
- Reduzir os efeitos de passagem dos incêndios, protegendo vias de comunicação, povoamentos florestais com elevado valor paisagístico e cultural e especialmente áreas edificadas e as populações que aí habitam;
- Diminuir a superfície percorrida por grandes incêndios, compartimentando a paisagem e dificultando a passagem do fogo;
- Facilitar as operações de combate direto e indireto ao fogo, já que com a rede primária o coberto predominante passará a ser de combustíveis finos ou sem qualquer coberto, e a intensidade de chamas será menor;
- Permitir uma maior amplitude de visão, da maior importância para o planeamento do combate e de definição dos locais de posicionamento das equipas de combate ao fogo, para além de facilitar o acesso aos pontos de água e facilitar o seu reabastecimento;
- Garantir a segurança aos bombeiros e uma “rota de fuga” no combate ao fogo (Pinho *et al.*, 2006), através da existência e manutenção adequadas de uma rede viária fundamental à circulação de viaturas de combate.

Estas funções têm como objetivo cortar tanto a continuidade horizontal e vertical dos combustíveis, alterando o comportamento de um incêndio, impedindo especialmente que este atinja fases de intensidade elevadas, como a transformação de um fogo de superfície num fogo de copas (Agee e Skinner, 2005). Preferencialmente, podendo tais condições variar com a realidade observada no terreno, devem localizar-se em planícies ou regiões montanhosas, em cumeadas ou ao longo dos vales, bem como em locais acessíveis a viaturas de combate a incêndios (Ascoli *et al.*, 2018) e adjacência a locais de grande interesse paisagístico. Devem ainda ter uma orientação perpendicular à direção principal de propagação dos incêndios em dada área, intersetando-os e provocando uma redução significativa da intensidade do fogo (Finney, 2007). Devem também localizar-se nos limites das bacias hidrográficas. Segundo Barros *et al.* (2011), em Portugal 84% da área ardida está localizada em bacias hidrográficas onde o fogo teve uma orientação preferencial, principalmente de

Nordeste/Sudoeste no Norte e Centro e de Sudeste/Noroeste no Sul. Tal exemplifica a importância do uso de elementos da paisagem como locais para ancorar a rede de FGC.

### 1.6. Legislação em Portugal

Para Portugal, o planeamento, instalação e manutenção da rede primária são definidos pelo Decreto-Lei n.º 124/2006 de 28 de junho, com nova redação no Decreto-lei n.º 76/2017 de 17 de agosto (ICNF, 2014). Segundo este, a rede primária deve estar estabelecida em locais estratégicos com condições favoráveis ao combate a grandes incêndios florestais. Deve ser definida pelos Planos Distritais de DFCI e integrada no planeamento municipal e local da DFCI (Decreto-Lei n.º 124/2006).

A largura da rede primária não deve ser inferior a 125 m, ao longo de cumeadas ou vales, demarcando compartimentos com área entre 500 ha e 10000 ha (ICNF, 2014), com orientação preferencialmente perpendicular à dos ventos associados à ocorrência de condições meteorológicas mais propícias a grandes incêndios e com coberto arbóreo menor que 50% (Pinho *et al.*, 2006). A cobertura arbórea deve apresentar uma densidade crescente à medida que aumenta a distância ao centro da rede primária, onde deverá existir uma faixa de interrupção de combustíveis (ICNF, 2014). Porém, será de admitir uma variação das características entre segmentos de rede, de acordo com a paisagem existente e suas condicionantes.

As condicionantes à instalação incluem a falta de rede viária florestal; os declives transversais superiores a 25%; povoamentos florestais com características notáveis a nível histórico ou de conservação e a localização em áreas em que florestas de eucalipto ocupem mais que 35% da área (ICNF, 2014).

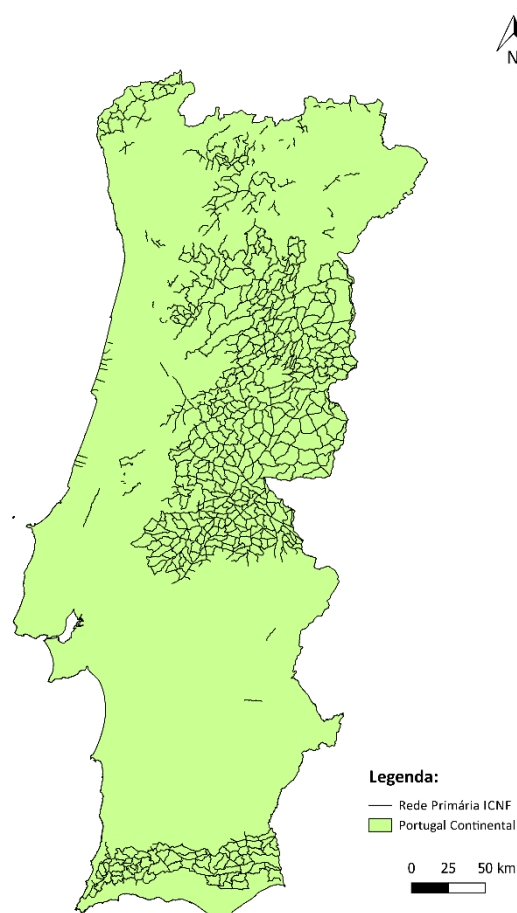
### 1.7. Rede Primária criada em Portugal

Apenas 7% das florestas em Portugal são públicas (DGF, 2000), e 85% das propriedades florestais têm menos de 5 ha (Mather e Pereira, 2006). Tais factos adivinham a dificuldade da instauração de políticas florestais concertadas e que respondam às necessidades económicas dos pequenos proprietários e ao incremento dos valores ambientais reclamados por parte significativa da sociedade. Significam também a dificuldade acrescida de implantar uma rede primária contínua e de extenso comprimento em parte significativa do território nacional, especialmente em regiões de maior prioridade de instalação, como as zonas litorais do Norte e Centro.

Está disponível na página de internet do ICNF a rede primária nacional em vigor (ICNF, 2019a), atualizada em junho de 2018 e apresentada na figura 5. Esta foi desenvolvida por, entre outros, Comissões Regionais de Reflorestação (Pinho *et al.*, 2006), através de trabalho de campo por equipas multidisciplinares de bombeiros, gestores florestais e elementos da proteção civil (Oliveira *et al.*, 2016), bem como por Gabinetes Técnicos Florestais de cada município e Coordenadores de Prevenção Estrutural distritais. Tem uma extensão total de 3539 km (ver Quadro 1).

Foram implementadas através de Planos Municipais de DFCI; das ZIF; e de diversos projetos de financiamento comunitário, como o PDR2020 e o POSEUR (Programa Operacional de Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos), ou financiados pelo EEA Grants.

Porém, devido à falta de disponibilização de fundos financeiros e de empenhamento dos proprietários privados, apenas uma pequena parte da rede proposta foi implementada no terreno (Oliveira *et al.*, 2016). A elevada extensão da rede criada/proposta não contribui para a sua aplicação total na paisagem, devendo ser por isso definido um conjunto de classes de prioridade que racionalizem o custo/eficácia da sua construção. Segundo Oliveira *et al.* (2016), até 2016, apenas 17% da rede proposta tinha sido construída.



**Figura 4 - Rede Primária desenvolvida pelo ICNF**



## 2. Projeto de redimensionamento da Rede Primária inicial proposta pelo ICNF

### 2.1. Contexto

Devido aos elevados custos em aplicar a totalidade da rede desenhada pelo ICNF, foi pedido ao Centro de Estudos Florestais do Instituto Superior de Agronomia a reavaliação desta rede inicial, nomeadamente o redimensionamento para aproximadamente um terço da sua extensão original, a aplicar nos locais que apresentem uma maior prioridade de aplicação.

Para a seleção deste comprimento de rede prioritário foram definidas variáveis sobre aspetos morfológicos; de ocupação do solo; de regime de gestão ou de incidência do fogo. A esta rede prioritária deu-se o nome de Rede Estruturante. Segue-se uma vista geral deste projeto de redimensionamento.

### 2.2. Rede original e alteração do seu desenho

O ficheiro de Rede Primária de Faixas de Gestão de Combustível original, disponível no site do ICNF (ICNF,2018) em formato *shapefile*, foi alterado para possibilitar a atribuição de variáveis e definição da prioridade de cada faixa, pois tinha diversos problemas de continuidade espacial dos polígonos, e frequentemente diversas geometrias sobrepostas. Todos os troços têm uma largura fixa de 125 metros, como definido no Manual de Rede Primária (ICNF,2014).

Por fim, foi feita uma segmentação da rede, definindo troços individuais separados pelas interseções da rede primária original (figura 5). O redimensionamento teve como base estes troços, aos quais foi definido um nível de prioridade, para selecionar os mais importantes para criar a rede estruturante.

### 2.3. Extração de variáveis e criação do índice de prioridade

O índice de prioridade de cada troço foi obtido considerando um conjunto de variáveis, agrupados em 5 temas descritos abaixo:

O tema do Fogo inclui variáveis relacionadas com a incidência histórica do fogo na zona envolvente aos troços e com a orientação dos troços em relação aos ventos nos dias de alto risco.

O tema do Combustível quantifica a percentagem de coberto combustível (matos e florestas) na envolvente dos troços, sendo um fator importante para a propagação do fogo.

O tema associado ao Perigo para a População quantifica a percentagem de coberto combustível nas áreas circundantes às povoações pertencentes à envolvente dos troços, sendo um fator importante para a vulnerabilidade das pessoas e das infraestruturas.

O tema do Valor Económico inclui a variável de quantificação do dano que poderá ser infligido a matos ou florestas em caso de incêndio, por valor monetário perdido.

Por fim, o tema do Valor Ecológico tem em conta a existência de áreas de interesse biológico classificadas e o valor de dano potencial da floresta autóctone.

O índice de prioridade integrado de cada troço foi calculado através dum processo de ponderação da importância de cada variável e tema, que foi também aplicado neste trabalho (ver Metodologia – página 23).

Por fim, um limiar de prioridade (0.618) para um dado troço a ser incluído na rede estruturante foi definido de forma a obter a extensão requerida de um terço da rede original. Este limiar corresponde ao terço superior do valor do índice de prioridade dos segmentos da rede do ICNF, todos com um valor igual ou superior a 0.618.

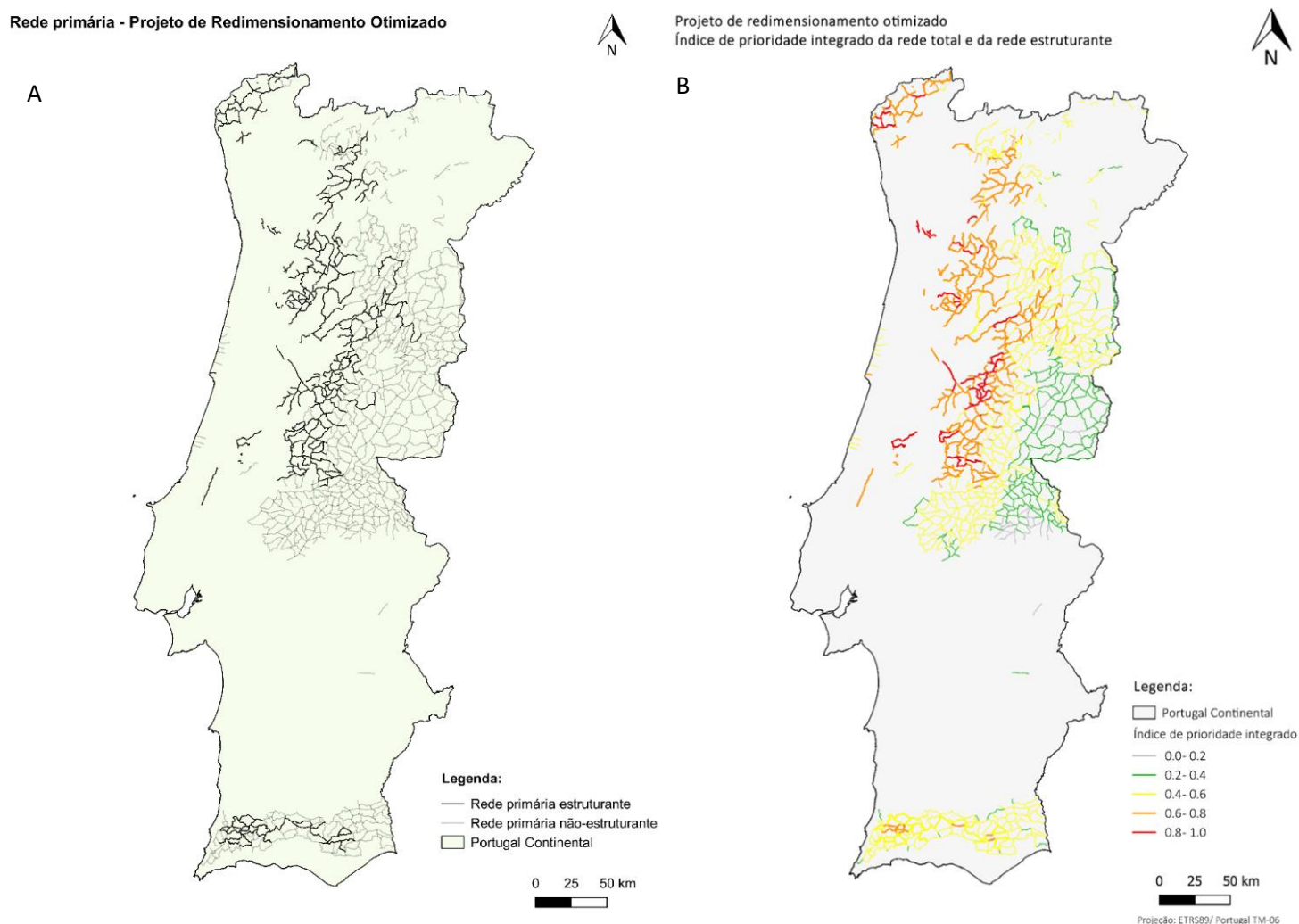
#### **2.4. Custos e otimização da rede**

A compartimentação da paisagem através de troços conectados entre si é uma das funções da rede primária (página 8). Portanto, foram selecionados troços adicionais para assegurar quando necessário a conexão entre os troços de alta prioridade e constituir assim uma verdadeira rede de troços.

Estes foram identificados através duma abordagem específica para redes (análise em grafos), integrando o índice de prioridade e os custos de implementação/manutenção dos potenciais troços de conexão.

## 2.5. Rede estruturante do ICNF

A rede estruturante, resultado da otimização da rede primária inicial do ICNF, tem um comprimento de 3543 km, sendo aproximadamente um terço da rede original. A figura 6A indica qual a rede escolhida, sobre os traços mais claros da rede total.



**Figura 5** - Projeto de redimensionamento otimizado: **A** - Rede primária estruturante e não estruturante; **B** - Índice de prioridade integrado da rede total e rede estruturante

Um relatório foi produzido e enviado ao ICNF (CEF,2018), que funcionou como antecâmara para definir rede primária para locais onde esta não existe. Este projeto foi então usado como base para esta tese de mestrado, com o objetivo de contribuir para medidas de mitigação à problemática dos incêndios rurais, especialmente aqueles de grande dimensão, bem como à possível modificação da paisagem portuguesa.

A figura 6B reproduz os valores do índice de prioridade integrado para a rede total proveniente do ICNF, com um traço mais grosso para a rede estruturante. Os troços com maior índice localizam-se

na região mais próxima do litoral onde existe rede, onde a população é maior e o coberto vegetal tem maior concentração de florestas e matos. Áreas com baixo índice de prioridade localizam-se principalmente na Beira Baixa e Alto Alentejo, onde é provado que a elevada densidade de rede proposta para estas regiões é desadequada.

## 2.6. Análise da Rede estruturante do ICNF

Para a rede estruturante do ICNF, o quadro 1 permite verificar que existem 109 segmentos com valor do índice de prioridade inferior a 0.618 (segmentos não-prioritários), aos quais estão associados 8932 hectares de área e 711 quilómetros. Excluindo esta, a classe de valores mais representativa é a de índices compreendidos entre 0.65 e 0.699, com 95 segmentos, com 656 quilómetros de comprimento e 8243 hectares. Verifica-se especialmente a baixa existência de índices de prioridade mais elevados, associados a valores extremos, seja ao nível do fogo; combustível ou densidade populacional. Estes valores, maiores que 0.9, compreendem menos de 2% do comprimento e área totais. Não é visível uma relação direta entre o índice de custo integrado médio associado e as classes de intervalos de índice de prioridade integrado.

**Quadro 1** - Rede Estruturante do ICNF: Nº; comprimento e área total dos segmentos agrupados em classes definidas pelos índices de prioridade integrados de cada segmento.

Índice de prioridade integrado	Nº segmentos	Comprimento (km)	Área do segmento (ha, para 125 m circundantes)	Índice de custo integrado médio associado
0-0,617	109	711	8932	0,372
0.618-0.649	74	484	6086	0,401
0.65-0.699	95	656	8243	0,398
0.7-0.749	93	596	7491	0,432
0.75-0.799	77	557	7000	0,397
0.8-0.849	37	289	3628	0,349
0.85-0.899	31	185	2331	0,378
0.9-0.949	13	60	756	0,386
0.95-1	2	2	26	0,354
<b>Total</b>	<b>531</b>	<b>3539</b>	<b>44492</b>	<b>0,394</b>

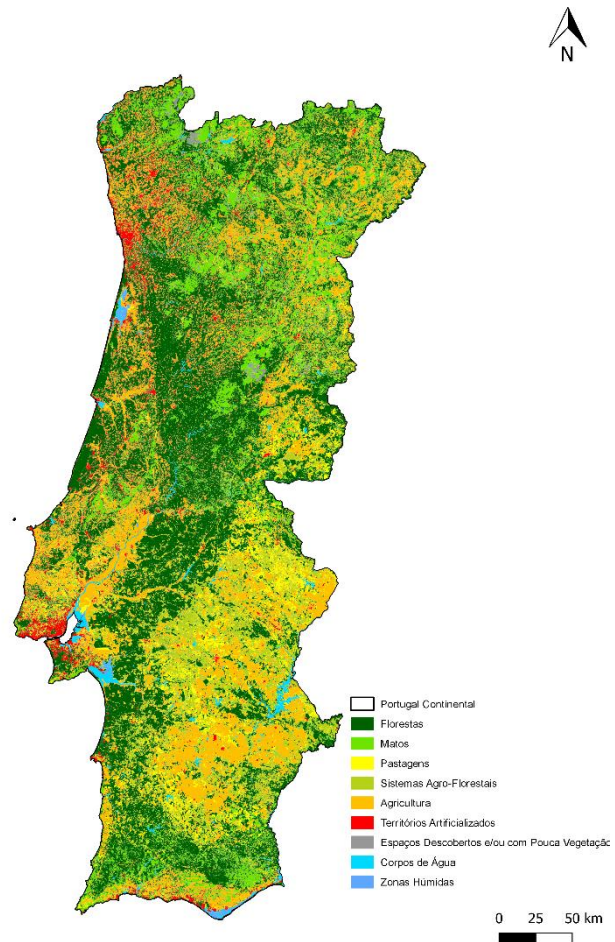
# Criação de uma rede primária de FGC para Portugal Continental

## 1. Área de estudo

A área de estudo é todo o território de Portugal Continental, já que apesar de apenas ser necessária a criação de uma rede primária para áreas onde esta ainda não exista, será criado antes um algoritmo aplicado a todo o território, não relacionado com a rede já existente, sendo posteriormente definida a área a subtrair. Este tem uma área de 8910220 hectares (Caetano *et al.*, 2018), localizado entre 37° N e 42° N da latitude e 6° W e 10° W graus de longitude, no sudoeste europeu; e onde as florestas e matos ocupam mais de metade da área, com 39% e 12,4% respetivamente (Caetano *et al.*, 2018). Tal denota uma grande carga de combustíveis na paisagem, especialmente nas regiões do Norte e

Centro. A região Sul caracteriza-se em geral por uma maior presença de agricultura; pastagens e sistemas agroflorestais, onde é menor a incidência do fogo. Tais áreas, a nível nacional, ocupam juntas 40,8% do território (Caetano *et al.*, 2018).

Na metade norte do país, que podemos dividir pelo Tejo, localizam-se a maioria dos povoamentos de Pinheiro-bravo (*Pinus pinaster* Aiton), enquanto os montados de sobreiro (*Quercus suber* L.) e azinheira (*Quercus rotundifolia* Lam.) predominam na metade sul. As plantações de Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) estão presentes sobretudo na metade ocidental, onde a distância ao mar é menor e o clima é mais suave. De referir que boa parte das áreas de montado são geridas como sistemas agroflorestais, que se caracterizam por uma baixa densidade de árvores e de espécies arbustivas, quando comparadas com maiores densidades dos subcobertos das florestas de eucalipto e pinheiro-bravo (Silva, 2004).



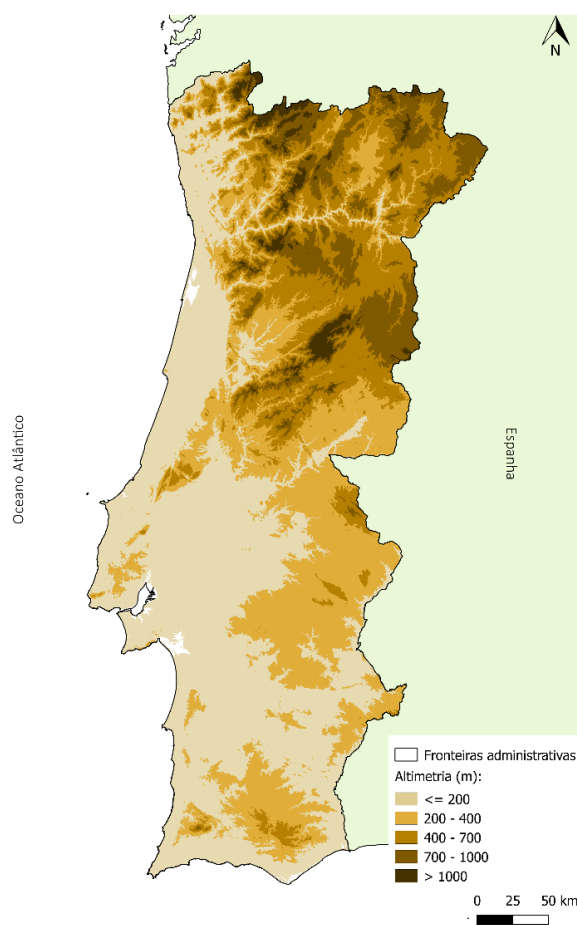
**Figura 7** - Megaclassas de Ocupação do Solo (COS2015)

As áreas de matos concentram-se na região do Norte e Centro Interior, bem como no Sudeste de Portugal. Estão associadas principalmente às cumeadas e planaltos das regiões montanhosas, onde o regime do fogo para renovo de pastagens e as condições mais agrestes do clima dominam. A biomassa destes matos é em geral de 10-15 t ha<sup>-1</sup> (Silva, 2004). As espécies mais comuns estão associadas aos géneros *Cistus* e *Cytisus*. Já a área agrícola domina na região Sueste, ao longo dos vales dos grandes rios e na zona costeira da região Centro. No Sudeste, esta é praticada de um modo extensivo e as propriedades têm uma maior dimensão do que aquelas da paisagem agrícola típica do Centro e Norte português, onde a propriedade é mais fragmentada e onde ocorre uma maior heterogeneidade de cultivos (Nunes *et al.*, 2005).

Quanto à sua fisiografia, o território português caracteriza-se por duas regiões distintas, separadas pelo sistema montanhoso Montejunto-Estrela. A norte deste, uma rede densa e complexa de montanhas e planaltos acima de 800 metros é combinada com vales e depressões profundas do terreno (Barros *et al.*, 2011), onde se localiza a terra mais fértil e a maior parte da população. A sul, dominam extensas planícies e colinas de declive suave, com menores altitudes, raramente ultrapassando os 500 metros, exceto na região do Algarve (figura 8).

O clima em Portugal Continental é mediterrânico, com verões amenos e secos na metade norte e verões quentes e muito secos na metade sul do país. A precipitação média a nível nacional é de

882,1 milímetros para o período 1971-2000 (IPMA, 2008) e caracteriza-se por grandes variações espaciais e temporais na área de estudo. Especialmente, os maiores valores verificam-se no Noroeste e nos maciços montanhosos; enquanto no Interior Norte e Sul os valores são menores, sendo inferiores a 500 milímetros em várias estações meteorológicas (Couto *et al.*, 2011). No período estival (junho a agosto), as precipitações são pequenas ou mesmo residuais (6,8% do total anual), quando comparadas com os altos valores do Outono e Inverno (especialmente entre outubro e fevereiro).



**Figura 8 - Área de estudo e Altimetria de Portugal Continental**

Os incêndios rurais têm sido um aspeto constante do território Português desde a década de 1970, com uma tendência para o aumento da área ardida média anual (EFFIS, 2018) e causas como o êxodo rural; abandono da agricultura; reflorestação natural ou humana e políticas de supressão do fogo. É na região Norte e Centro, bem como no Algarve, onde a incidência de fogo é maior, pois há uma conjugação do verão seco mediterrânico com uma precipitação abundante no Inverno, o que dá origem a uma elevada produtividade primária da vegetação e, portanto, uma grande quantidade de combustíveis na paisagem. Entre 1995 e 2015 verificou-se uma redução da área florestal e agrícola em 397 mil hectares, perdendo-se 314 mil ha de áreas agrícolas e 83 mil ha de florestas; e um aumento da área de matos em 227 mil ha (ICNF, 2019c), principalmente explicada pelos grandes incêndios rurais e pela sua recorrência elevada. Os efeitos do fogo são também visíveis à escala regional, com as regiões do Norte e Centro, onde o fogo é mais recorrente, a apresentarem a quase totalidade da perda de área florestal neste período.

## 2. Dados

A rede primária de FGC a criar deve recorrer a modelação geográfica em SIG (Guiomar *et al.*, 2006), através do uso de informação da morfologia do território; histórico do fogo na região; ocupação do solo; direcção dos ventos dominantes; índices de risco e perigosidade de incêndios, entre outros (Ascoli *et al.*, 2018).

Para a definição da área de estudo, que é aqui todo o território de Portugal Continental – A NUTS I de nome “Continente” (pois a rede será criada em áreas onde não exista ainda rede primária), são necessárias diversas bases de dados que englobem o total desta área. Estes ficheiros, em formato vetorial ou *raster*, são depois cortados pela fronteira do Continente/Portugal Continental. Para obter a rede primária estruturante é usado um Modelo Digital de elevação do Terreno (MDT) para obter dados da delimitação de bacias hidrográficas; do declive e das formas do terreno. De notar que alguns ficheiros foram obtidos através de processos e algoritmos em Sistemas de Informação Geográfica e cuja explicação é aqui desnecessária, pelo que serão explicados em pormenor no capítulo dos Métodos.

### 2.1. Nomenclatura

Será definida uma certa nomenclatura para definir o tipo de rede primária a usar em cada secção ao longo deste documento, para tentar conseguir uma certa uniformização dos termos.

- **Segmento:** Linha de cumeada individualizada, definida pelo comprimento entre duas intersecções com outros segmentos.
- **Troço:** Área de 125 metros de largura em redor de um segmento.

- **Fase 1:** Referente ao projeto de redimensionamento da rede do ICNF.
- **Fase 2:** Referente ao processo de criação de rede primária presente neste estudo.
- **Área de influência:** Área de 10 quilómetros em redor de um segmento.
- **Rede Primária ICNF / rede primária estruturante da fase 1:** A rede primária estruturante definida a partir da rede desenvolvida pelo ICNF, no projeto de redimensionamento da rede primária.
- **Rede Primária Estruturante / rede primária estruturante da fase 2:** Os troços prioritários da rede subtraída, tendo em conta o índice de prioridade integrado, desenvolvida pelo método das cumeadas entre bacias hidrográficas.

## 2.2. Dados usados para a definição da Rede Primária Estruturante da fase 2 e construção dos índices integrados

### 2.2.1. Rede Primária do ICNF

Este ficheiro, em formato *shapefile*, representa a Rede Primária de Faixas de Gestão de Combustível (ICNF, 2019a). É a rede usada no Projeto de Redimensionamento otimizado da RPFGC, logo a rede estruturante da fase de redimensionamento (CEF, 2018). Esta será unida com a rede a obter neste trabalho, para algumas análises gerais.

### 2.2.2. Limites de Portugal Continental

Estes limites foram obtidos gratuitamente através da versão de 2018 da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP), proveniente da Direção-Geral do Território (CAOP, 2018), sendo a versão mais recente e exata possível.

### 2.2.3. Morfologia

Será usado um Modelo Digital do Terreno (MDT) proveniente do *Copernicus Land Monitoring Service* (*European Digital Elevation Model* (EU-DEM), versão 1.1., 2016), com uma resolução espacial de 25 metros (correspondentes à largura de cada pixel) e em formato *raster*. Foi criado após a união de duas unidades quadriculares de 1000x1000 km cada (E20N20 e E20N10), que englobam a totalidade da área de estudo.

O MDT será utilizado para a criação de ficheiros de declive; para a definição das formas do terreno dividindo estas a paisagem em 10 classes (definidas no anexo 1) de acordo com as suas unidades de terreno, como vales, colinas ou planícies (Weiss, 2001); e para a criação de uma rede de bacias hidrográficas.



#### 2.2.4. Incêndios

Os dados históricos dos incêndios rurais em Portugal foram obtidos do atlas do fogo do Instituto Superior de Agronomia, baseados em imagens satélite do Landsat e dados do ICNF, numa base anual para o período 1975 a 2017. Inclui 44646 perímetros de área ardida, com áreas que variam entre 5 e 46687 hectares (ICNF, 2019d). O limiar mínimo para demarcação de áreas ardidas foi de 35 ha entre 1975 e 1983, e de 5 ha para os restantes anos. Este ficheiro encontra-se em formato vetorial. Deste, foi definido um ficheiro em formato *raster* com a interseção destes fogos, sendo este o número de vezes em que dado pixel ardeu. Tais valores variam entre 0, representando uma área que não ardeu neste período de 43 anos; e 17, ou seja, o pixel foi atravessado 17 vezes pelo fogo. A resolução espacial deste *raster* é de 25 metros e será usado para a definição de uma das variáveis do índice de prioridade.

Também os pontos de ignição registados para incêndios que ocorreram entre 2001 e 2017 (dados fornecidos por R. Almeida, ICNF) serão usados, neste caso para outra variável do tema “Fogo”. O ficheiro contém 424075 ignições, apesar de muitas delas corresponderem a pequenos focos de incêndios menores que 5 hectares, portanto não representados no ficheiro dos incêndios florestais. Como não serão utilizados na mesma variável, este caso não será um problema. O ficheiro está em formato de pontos georreferenciados.

#### 2.2.5. Classes de Ocupação do solo

Para uso em diversas fases do trabalho, serão utilizados os dados da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) para 2015, sendo esta a versão mais recente disponível (Direção-Geral do Território, 2018). De formato vetorial, tem uma unidade mínima cartográfica de 1 hectare. Possui 48 classes agrupadas em 9 megaclasses (Caetano *et al.*, 2018). As megaclasses incluem os matos; florestas; áreas artificializadas; agricultura; sistemas agroflorestais; pastagens; espaços descobertos ou com pouca vegetação; zonas húmidas; corpos de água. Por exemplo, dentro da megaclasses “florestas” estão incluídas as Florestas de Eucalipto; Florestas de Outros Carvalhos; entre outras. As classes, bem como as megaclasses definidas por estas, encontram-se no anexo 2.

Serão isoladas diversas classes ou subclasses para o cálculo de diversas variáveis e índices, por exemplo para o cálculo das áreas com combustível (matos e florestas) ou dos custos de execução e manutenção, bem como para a definição das manchas contínuas de combustível.

#### 2.2.6. Orientação do vento em dias de alto risco de incêndio

Este é um ficheiro vetorial em formato de pontos, sendo estes 6047 no total. Tem uma resolução de 4 quilómetros e foi fornecido pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Cada ponto tem

dados sobre a orientação média do vento dominante nos dias de alto risco de incêndio, que se definiram como aqueles em que o *Fire Weather Index* (FWI) foi superior ao percentil 90 (DaCamara *et al.*, 2014). Estes dados estão na unidade de grau, variando entre -180° e 180°. Existe também um ficheiro *raster* com os valores de orientação do vento, tendo sido interpolado do ficheiro de pontos anteriormente descrito, com resolução espacial de 1 quilómetro.

### 2.2.7. Áreas de interesse ecológico

Para a definição de uma das várias variáveis a serem usadas, serão utilizados ficheiros vetoriais, em formato *shapefile*, das áreas de interesse ecológico, que incluem:

- a) Áreas protegidas de Portugal Continental com gestão do ICNF, incluindo Parques Nacionais; Parques Naturais; Reservas Naturais; Paisagens Protegidas e Monumentos Naturais.
- b) Áreas da Rede Natura 2000 para Portugal Continental, que incluem os Sítios de Importância Comunitária e da Lista Nacional (SIC); e Zonas de Proteção Especial para as Aves (ZPE).
- c) Reservas da Biosfera, do programa *Man and the Biosphere* da UNESCO.
- d) Zonas de Intervenção Florestal (ZIF), segundo a versão de novembro de 2018.

Todas estes ficheiros foram retirados da página internet do ICNF (ICNF, 2019b) e estão disponíveis em regime de acesso livre.

### 2.2.8. Matas e perímetros florestais

Também do ICNF, mas não disponível em formato aberto, foi fornecido um ficheiro vetorial com as áreas para o território continental de áreas de matas e florestas públicas, que incluem Matas Nacionais; Perímetros Florestais; Tapadas e Áreas Florestais. Este ficheiro irá ser usado em conjunto com aqueles das áreas de interesse ecológico.

### 2.2.9. Valor e vulnerabilidade dos matos e florestas

Para a definição do dano potencial, serão usados valores provenientes do Guia técnico do Plano Municipal de Defesa Contra Incêndios. A tabela com os valores económicos para os espaços florestais (Autoridade Florestal Nacional, 2012) tem indicação da vulnerabilidade de dado coberto vegetal florestal ou de mato, sendo esta um valor relativo entre 0 e 1, e do valor dos bens e serviços a perder no momento do dano, com valores em euros/hectare. Os valores de dano e vulnerabilidade apresentam-se no quadro 2.

**Quadro 2** - Dano e vulnerabilidade

Classe de florestas/matos	Valor (€/ha)	Vulnerabilidade	Dano potencial
<b>Valor económico</b>			
Eucalipto	136	0.75	102
Sobreiro	618	0.5	309
Azinheira	112	0.5	56
Invasoras	0	0.3	0
Castanheiro	830	0.7	581
Pinheiro-bravo	91	0.875	80
Pinheiro-manso	494	0.7	346
Outras resinosas	84	1	84
Matos	52	0.4	21
<b>Valor de conservação</b>			
Outros carvalhos	87	0.6	52
Outras folhosas	1507	0.5	753

#### 2.2.10. Dados numéricos dos custos de indemnização

Estes valores não têm unidade e foram estimados pela Secretaria de Estado das Florestas e do Desenvolvimento Rural. Representam o custo de indemnização pela constituição de servidão nos 125 metros de largura de cada segmento de rede e variam entre 0 e 1. Para as florestas de Pinheiro-bravo este valor é 1; para as florestas de Eucalipto este valor é 0.4 e para florestas de outras espécies, não incluindo coberto florestal de Pinheiro-bravo ou Eucalipto é 0.2. Estes valores dão-se no caso de estas áreas não terem sido afetadas por incêndios em 2016 ou 2017. Caso tenham ardido nestes dois anos, todos estes valores serão reduzidos para metade, como visto no quadro 3.

**Quadro 3** - Custos de indemnização

Classe de coberto do solo	Áreas não ardidas em 2016 e 2017	Áreas ardidas em 2016 e 2017
Florestas de pinheiro-bravo ( <i>Pb</i> )	1	0.5
Florestas de eucalipto ( <i>Eu</i> )	0.4	0.2
Outras florestas ( <i>Of</i> - sem <i>Pb</i> e <i>Eu</i> )	0.2	0.1
Outros cobertos ( <i>Oc</i> - sem <i>Of</i> )	0	0

#### 2.2.11. Dados dos custos de execução e manutenção

Estes dados têm como fonte as matrizes da Comissão para o Acompanhamento das Operações Florestais (CAOF) para operações de arborização, rearborização e beneficiação; dependendo da

classe de declive e do coberto vegetal. As classes de declive usadas foram as menores que 25% e as iguais ou superiores a 25%. Este valor é geralmente definido como o limite acima do qual deve ser evitado o uso de máquinas florestais. Foram estimados valores médios nacionais para cada classe combinada de declive e tipo de coberto (CEF, 2018), os quais se apresentam no quadro 4.

**Quadro 4** - Custos de execução e manutenção

Classe de coberto do solo	Declive < 25%	Declive ≥ 25%
Custos de execução (€/ha)		
Florestas de eucalipto e de invasoras	900	1200
Outras florestas	500	900
Matos	250	400
Vegetação herbácea natural	90	150
Custos de manutenção (€/ha/ano)		
Florestas	30	50
Matos	25	40
Vegetação herbácea natural	20	30

## 2.3. Outros dados

### 2.3.1. População e edifícios na área de influência

Para definir qual o número de habitantes nesta área, serão usados os dados da Base Geográfica de Referenciação da Informação 2011, um produto do Instituto Nacional de Estatística (INE) que inclui o formato *shapefile* para diversas áreas estatísticas, sendo a aqui usada a subsecção estatística. Este ficheiro será apoiado por um ficheiro numérico com informação estatística para subsecções estatísticas definidas pelo INE, da qual se irão retirar alguns indicadores para análise (INE, 2011).

### 2.3.2. Rede de estradas

Esta rede foi retirada do *Open Street Maps*, uma página online em que os utilizadores adicionam à base de dados os elementos da paisagem em mapas; como estradas, edifícios ou rios. O acesso viário aos segmentos da rede primária prioritária/estruturante é essencial para permitir o acesso das forças de combate às Faixas de Gestão de Combustíveis. Também foi analisada a base de dados de estradas do TomTom (2019) ao nível nacional, mas esta tinha um menor detalhe quando comparada com a rede de estradas do OSM, pelo que foi escolhido trabalhar com esta última. No anexo 3, apresentam-se quais as classes de estradas escolhidas, eliminado caminhos e ruas dentro de perímetros urbanos. Esta base de dados, extraída especificamente para Portugal, foi retirada diretamente da Internet

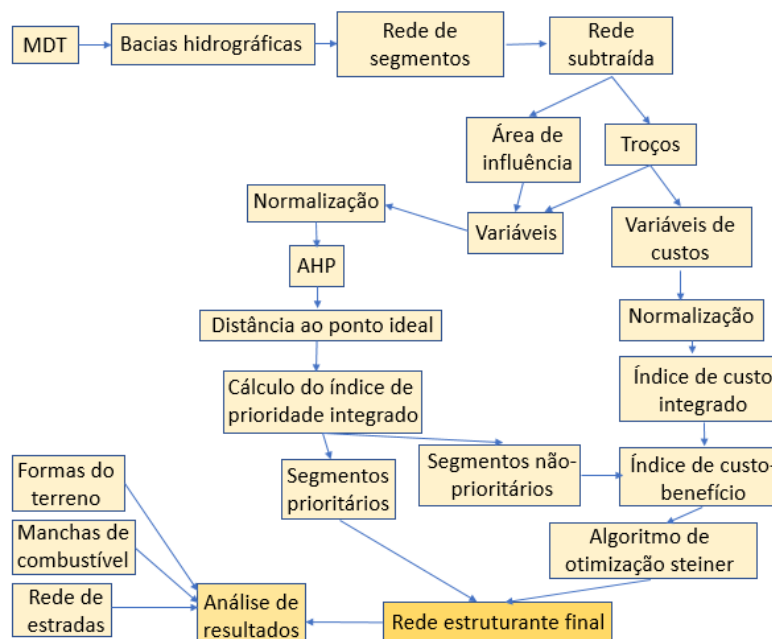
(Geofabrik, 2019) e utilizada na criação de uma variável de análise da rede final obtida, na secção de resultados.

### 3. Métodos

O esquema abaixo (figura 9) refere os principais passos de construção da rede estruturante final, descritos em pormenor ao longo deste capítulo.

As bacias hidrográficas foram delineadas a partir do modelo digital do terreno de Portugal Continental, permitindo obter os segmentos potenciais da rede primária, definidos pelas linhas de fronteira entre bacias. Esta rede de segmentos foi aplicada à área de rede subtraída (aquela que não inclui a rede primária do ICNF) e depois transformada em troços ou área de influência. Foram calculadas 11 variáveis para cada segmento, agrupadas nos 5 temas definidos nas páginas 11 e 12. Todas estas variáveis foram normalizadas para uma escala 0-1.

Para obter o índice de prioridade integrado foi necessário definir as ponderações a dar a cada variável, obtidas pelo *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 1977), aplicadas depois a uma análise multicritério baseada no método da distância ao ponto ideal (Prodanovic e Simonovic, 2003), calculando o índice de prioridade para todos os segmentos. Estes foram divididos em segmentos prioritários e não-prioritários. Os segmentos não-prioritários foram usados para a otimização da rede estruturante (bem como valores associados ao custo-benefício), com o objetivo de unir segmentos prioritários entre si. Esta otimização foi feita através do algoritmo de Steiner (Gilbert e Pollak, 1968) e, juntamente com os segmentos prioritários, formou a rede estruturante final.



**Figura 9** - Esquema representativo do processo metodológico

### 3.1. Processo de definição dos segmentos

#### 3.1.1. Ficheiro de bacias hidrográficas

Para criar bacias hidrográficas seguindo um mesmo critério para todo o país foi usado um algoritmo do GRASS<sup>1</sup>, criando bacias hidrográficas de acordo com um limiar mínimo de área.

Segundo ICNF (2014), os compartimentos limitados pela rede primária devem ter uma área entre 500 e 10000 hectares. Estes e outros valores foram testados para o parâmetro “área mínima das bacias” do algoritmo. Após uma análise visual e estatística, em que foram avaliados os histogramas obtidos para cada valor selecionado de área mínima de acordo com a área de cada compartimento, foi decidido usar a rede com área mínima de 2500 ha. Esta possui uma boa correspondência com a rede do ICNF e evita extensões de rede muito elevadas, com custos incontroláveis de instalação e manutenção.

O ficheiro *raster* foi depois transformado em formato vetorial, através do ArcMap 10.6 (ESRI, 2011).

#### 3.1.2. Limpeza do ficheiro das bacias

Apesar do parâmetro de área mínima da bacia a criar, o algoritmo cria milhares de pequenas bacias em certas áreas, muitas vezes do tamanho de um único pixel. Para manter o limiar desejado, as bacias com menos que 500 hectares foram aglutinadas com as bacias adjacentes com a qual estas tinham uma maior fronteira comum. Esta rede de bacias após limpeza foi a usada para o passo seguinte.

#### 3.1.3. Definição dos segmentos

Os segmentos potenciais de rede primária, sendo neste caso os limites das bacias, foram convertidos de polígono para formato de linhas. Seguiu-se depois a individualização dos segmentos, em que cada segmento corresponde a uma extensão de linha entre interseções com outras linhas. Foram ainda acrescentados segmentos fronteiros entre Portugal e Espanha, tanto para fronteiras terrestres como em fronteiras aquáticas, exceto em zonas que são atravessadas pelos principais cursos de água de forma a evitar segmentos nas matas ripárias dos grandes rios, como o Minho; Douro; Tejo e Guadiana. Estes segmentos adicionais foram incluídos no ficheiro dos segmentos.

#### 3.1.4. Área de extração das variáveis para cada segmento

Existem duas áreas distintas para os quais foram calculadas as variáveis. A primeira é a área por defeito do segmento (125 metros de largura), definida com uma distância envolvente de 62,5 metros

---

<sup>1</sup> <https://grass.osgeo.org/grass76/manuals/r.watershed.html>

para cada lado. A esta foi dada o nome de **“troço”** e foi utilizada para calcular algumas variáveis (e.g. variáveis de custos; orientação em relação ao vento dominante).

Outra área, de maior extensão, é aquela que engloba 10 quilómetros à volta de cada segmento, portanto uma envolvente de 5 quilómetros para cada lado da linha de segmento. A esta área foi dada o nome de **“área de influência”** e é usada para a maioria das variáveis de priorização.

As variáveis de priorização estão divididas em 5 temas distintos: Fogo; Combustível; Perigo para a população; Valor económico e Valor ecológico. Separadas destas, estão as variáveis de custos, que foram usadas para o cálculo do índice de custo integrado e índice de custo-benefício de maneira a definir a rede estruturante, como a figura 9 indica.

Cada variável pertence a um tema, podendo um tema incluir mais do que uma destas. Serão agora descritos os métodos usados para o cálculo de cada variável.

## 3.2. Variáveis de priorização

### 3.2.1. Tema do Fogo

#### 3.2.1.1. Variável 1 – Área ardida acumulada de atravessamento (Código Atrav)

Esta variável representa a soma das áreas dos incêndios que atravessaram o troço, obtido pelo cruzamento do histórico das áreas ardidas 1975-2017 e dos troços potenciais de rede primária FGC com 125 metros de largura. Foram contados os incêndios maiores que 5 hectares que neste período atravessaram cada troço e qual a área total de cada um destes, de maneira a classificar o atravessamento através da soma das áreas totais dos incêndios (e não só a área que ardeu no troço) na unidade de hectares.

#### 3.2.1.2. Variável 2 – Percentagem de área de influência ardida (Código Pard)

Para classificar a percentagem acumulada da área de influência ardida entre o período 1975-2017, foi utilizado o ficheiro *raster* derivado do ficheiro vetorial das áreas ardidas, com o número de vezes ardido para esse período. Este *raster* foi intersectado pela envolvente de 10 km à volta de cada segmento (a área de influência).

Para tal, foi feito o quociente entre o somatório dos valores de cada pixel (cada pixel tem valores que variam entre 0 e 17) e o total de pixéis correspondentes à área de influência de cada segmento.

#### 3.2.1.3. Variável 3 – Densidade de ignição na área de influência (Código Ign)

O objetivo desta variável é definir qual o número de ignições registadas entre 2001 e 2017 na área de influência dos segmentos. A densidade de ignição calcula-se através do quociente entre o número de

ignições e a área de influência. Dá indicação das zonas onde o fogo é mais frequente, o que não significa necessariamente onde é mais severo e consome maiores superfícies.

#### 3.2.1.4. Variável 4 – Orientação em relação ao vento dominante em dias de alto risco (Código Vag)

Considerada para o nível de troço, ou seja, para a área que se encontra 125 metros à volta das linhas de cada segmento, esta variável pretende conhecer qual a orientação do troço em relação aos ventos dominantes nos dias em que o *Fire Weather Index* (FWI) foi superior ao percentil 90, portanto dias de elevado risco de incêndio (DaCamara *et al.*, 2014). Tais valores estão em formato de pontos e também em formato *raster*.

O anexo 4 descreve os detalhes dos procedimentos da criação desta variável, usando as caixas delimitadoras mínimas orientadas para obter a orientação de cada linha destas, com valores entre 0° e 180°. Estas linhas foram transformadas em pontos para compará-los com os valores de orientação do vento, para calcular o ângulo relativo entre os troços (definidos pela orientação das caixas delimitadoras) e a orientação do vento (definida por um *raster*).

É então conhecido o valor final médio do ângulo relativo para cada troço, variando entre 0° e 90°.

### 3.2.2. Tema do combustível

#### 3.2.2.1. Variável 5 – Percentagem de coberto combustível na área de influência (Código Comb)

Calculou-se como a percentagem da área de influência coberta por matos e florestas, associadas à COS 2015. A megaclasses dos Matos inclui apenas a classe Matos, enquanto a megaclasses das Florestas inclui 10 classes, a saber (Caetano *et al.*, 2018): Florestas de sobreiro; Florestas de azinheira; Florestas de outros carvalhos; Florestas de castanheiro; Florestas de eucalipto; Florestas de espécies invasoras; Florestas de outras folhosas; Florestas de pinheiro-bravo; Florestas de pinheiro-manso e Florestas de outras resinosas (todas as classes no anexo 2).

### 3.2.3. Tema do perigo para a população

#### 3.2.3.1. Variável 6 – Percentagem da área de influência com coberto combustível a < 500 metros de áreas urbanas (Código Urb)

As seguintes classes da COS 2015, pertencentes à megaclasses dos Territórios Artificializados, foram definidas como áreas urbanas: Tecido urbano contínuo; Tecido urbano descontínuo; Indústria, comércio e equipamentos gerais; Áreas portuárias; Aeroportos e aeródromos; Áreas em construção; Espaços verdes urbanos; Outras instalações desportivas e equipamentos de lazer; Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas. Estas áreas foram unidas e classificadas como “áreas urbanas”.



Foi acrescentado a este ficheiro um buffer de 500 metros, à volta destas áreas, representando o *interface* urbano-rural. As áreas de mato e floresta, definidas na variável 5, foram cortadas com o buffer de 500 metros, obtendo as áreas de mato e floresta (definidas como coberto combustível) existentes nas áreas à volta das povoações.

Por fim, foi calculada a percentagem da área de influência de cada segmento coberta por áreas combustíveis na interface urbano-rural.

### 3.2.4. Tema do valor económico

#### 3.2.4.1. Variável 7 – Dano potencial florestal na área de influência (Código Dano)

Os valores numéricos do dano potencial, referidos na secção de Dados para cada tipo de coberto pertencente aos matos e florestas; foram usados no cálculo desta variável. Como ficheiros base foram utilizados dados de ocupação do solo da COS 2015.

Com valor económico consideram-se os matos e todas as classes de florestas exceto as Florestas de outros carvalhos e Florestas de outras folhosas (ver anexo 2). A área destas classes com relevância económica foi calculada para a área de influência dos segmentos. Foi depois calculado o dano económico potencial, com a fórmula abaixo apresentada. Os valores numéricos representam o valor do dano potencial (tabelado para cada coberto no quadro 2), que são multiplicados pelas áreas de cada coberto, como a expressão abaixo indica e em que “c” representa cada tipo de coberto vegetal:

$$Dano = \frac{\sum_c \text{Área}_c \times Dano_c}{\text{Área de influência}}$$

O valor final está expresso em euros/ hectare e representa o valor monetário associado ao risco de danos ao coberto por ocorrência de incêndios.

### 3.2.5. Tema do valor ecológico

#### 3.2.5.1. Variável 8 – Valor de conservação da floresta na área de influência (Código Cons)

Foram novamente usados os valores do dano potencial, embora desta vez apenas para as ocupações do solo de Florestas de outros carvalhos e Florestas de outras folhosas da COS 2015, estando associadas ao valor de conservação. O processo de construção da variável é semelhante ao da variável 7.

Procede-se em seguida ao cálculo do dano potencial, aqui denominado como “valor de conservação” com a seguinte fórmula (Os valores numéricos correspondem ao dano potencial para cada um dos cobertos, provenientes do quadro 2):

$$Cons = \frac{((753 * \text{Área de outras folhosas}) + (52 * \text{Área de outros carvalhos}))}{\text{Área de influência}}$$

O valor final está expresso em euros/hectare.

### 3.2.5.2. Variável 9 – Percentagem da área de influência classificada (Código Class)

Esta variável tem como base as áreas de interesse ecológico, constituídos pela união dos ficheiros vetoriais das Áreas e reservas protegidas com gestão pública; dos Sítios de Importância Comunitária (SIC); das Zonas de Proteção Especial para aves (ZPE); das Reservas da Biosfera e das Zonas de Intervenção Florestal (ZIF). Nesta união de ficheiros também estão incluídas as áreas de matas e florestas públicas.

Este ficheiro foi cortado pela área de influência dos segmentos, para cálculo final da percentagem coberta por áreas classificadas.

## 3.3. Variáveis de custos

### 3.3.1. Variável 10 – Custo de indemnização (Código CosInd)

O cálculo do custo de indemnização divide-se em 4 tipos de coberto diferente e em 2 situações distintas: no caso de o coberto ter ardido em 2016 ou 2017; ou não ter sido afetado por incêndios nestes dois anos. As áreas ardidas têm um valor de indemnização menor (metade) do que as áreas não afetadas, sendo por isso importante separá-las (quadro 3). Temos então 8 combinações diferentes de polígonos a criar no ArcMap 10.6, onde estas operações foram efetuadas.

Os 4 tipos de coberto serão definidos por classes de uso do solo da COS 2015, a referir: Florestas de pinheiro-bravo; Florestas de eucalipto; Outras florestas (Todas as classes pertencentes à megaclasses Florestas não incluído eucalipto e pinheiro-bravo) e Outros cobertos (não incluído nenhuma das classes anteriores). Como o valor do custo de indemnização dos Outros cobertos será 0, elimina-se desde já este polígono, ficando 6 ficheiros *shapefile* a criar.

Em primeiro lugar, foi criado um ficheiro vetorial com a soma das áreas ardidas nos anos de 2016 e 2017. A este ficheiro foram cruzados os tipos de coberto, obtendo por exemplo a área de eucalipto não ardida e a área de eucalipto ardida em 2016 e 2017.

Depois estas áreas ardidas e não-ardidas por tipo de coberto foram cortadas pelas áreas dos troços com 125 metros de largura à volta das linhas de segmentos e foi calculada a sua área, para cada um destes 6 ficheiros. Os valores de custos correspondem aos valores tabelados dos custos de indemnização para cada coberto (Ver quadro 3).

O valor final está expresso em unidades relativas entre 0 e 1, por hectare de área do troço e foi calculado para áreas não-ardidas (“não-ardido”) e para áreas ardidas (“ardido”), em que os valores de custo são metade (0,5) dos respeitantes ao coberto que não ardeu. “c” representa o tipo de coberto:

$$CosInd = \frac{\sum_{c,não-ardido} Área_{c,não-ardido} \times Custo_c + \sum_{c,ardido} Área_{c,ardido} \times 0,5Custo_c}{Área do troço}$$

### 3.3.2. Variável 11 – Custo de execução e manutenção (Código CosExMa)

Como visto no capítulo dos Dados, os custos de execução e manutenção têm valores diferentes dependendo da classe de declive, neste caso declives inferiores ou iguais e superiores a 25%; e do uso do solo da COS 2015.

O declive foi extraído no QGIS a partir do modelo digital do terreno de Portugal Continental em valores percentuais.

Os custos de execução calcularam-se para as Áreas de eucalipto e invasoras; Outras florestas (Subtrair ao total das Florestas as áreas de eucalipto e invasoras); “Matos” e “Vegetação herbácea natural”. Para os custos de manutenção serão usadas as áreas de “Florestas” (correspondente a todos os cobertos florestais); “Matos” e “Vegetação herbácea natural”.

Os valores numéricos dos custos por classe de coberto e declive estão incluídos no quadro 4, na secção de Dados.

Os custos de execução e manutenção foram então calculados, multiplicando os custos de coberto/declive pelas suas áreas respetivas, e expresso em euros/hectare. De notar que os custos de manutenção têm um período de 10 anos, pelo que é necessário multiplicar o seu custo anual por 10. Os valores numéricos correspondem aos valores tabelados dos custos de execução e manutenção do quadro 4. A fórmula abaixo representada permite calcular esta variável, em que “c” representa o tipo de coberto vegetal; “d<25%” os declives menores que 25 % e “d> 25%” os declives iguais ou superiores a 25 %:

$$CosExMa = \frac{\sum_{c,d<25\%} Área_{c,d<25\%} \times Custo_{c,d<25\%} + \sum_{c,d>25\%} Área_{c,d>25\%} \times Custo_{c,d>25\%}}{Área do troço}$$

### 3.4. Definição das ponderações para as variáveis e temas para o cálculo da prioridade

Para cada um dos 5730 segmentos foram definidos os valores na escala natural destas 9 variáveis de priorização e 2 variáveis de custo, sendo depois definidas as ponderações a dar a cada variável e

tema. Os valores de ponderação foram definidos através da metodologia do AHP (*Analytical Hierarchy Process*), usada para tomadas de decisão multicritério, medindo a consistência e estabilidade das decisões a tomar (Saaty, 1977) e estimando pericialmente a importância relativa de todos os pares de variáveis possíveis, com estimativas consistentes para os pesos dos vários critérios.

Através de uma página *online*, foram efetuados dois processos para a definição dos pesos:

- Um processo para determinar quais as ponderações a dar a cada uma das 4 variáveis do tema Fogo (AHP-OS, 2019b), tendo então 4 alternativas (as 4 variáveis deste tema); e às 2 variáveis do tema Valor Ecológico (2 alternativas). Os outros temas são compostos por uma só variável. Este processo é mostrado na figura 10.
- Outro processo, mais global, para definir quais as ponderações a dar aos 5 temas (AHP-OS, 2019a): Fogo; Combustível; Perigo para a População; Valor Económico; Valor Ecológico.

De referir a não utilização das variáveis 10 e 11, relativas aos custos, que não foram usadas para o cálculo do índice de prioridade integrado.

As figuras 10 e 11 mostram um exemplo, para as variáveis do tema Fogo, de como foram definidas as ponderações. Para cada comparação par-a-par entre variáveis é escolhida aquela que deverá ter, de acordo com uma opinião pessoal, uma importância maior ou alternativamente uma importância igual. No caso de a importância ser maior, pode ser também definida qual o grau de preponderância sobre a outra variável. Para o par 1, por exemplo, foi escolhida a variável “Área ardida *buffer*”, com uma importância duas vezes maior que a dada a “Área ardida atravessamento”. Já para o par 2 nenhuma variável foi escolhida, tendo ambas importâncias iguais (figura 10).

Após preencher todos os pares, é feita a verificação da consistência com um resultado em percentagem (CR – *Consistency Ratio*). Neste caso o valor de 0,8% indica uma boa consistência entre os valores dados a cada par. São obtidas as ponderações para cada variável em percentagem, que depois são transpostas para um valor entre 0 e 1, tendo por exemplo a variável “Área ardida atravessamento” um peso de 19,5% ou 0.195 no tema Fogo (figura 11).

A - Importance - or B?		Equal	How much more?
1 <input type="radio"/> Area ardida atravessamento	or <input checked="" type="radio"/> Area ardida buffer	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
2 <input checked="" type="radio"/> Area ardida atravessamento	or <input type="radio"/> Ignicoes buffer	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
3 <input checked="" type="radio"/> Area ardida atravessamento	or <input type="radio"/> Orientação ao vento FWI90	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
4 <input checked="" type="radio"/> Area ardida buffer	or <input type="radio"/> Ignicoes buffer	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
5 <input checked="" type="radio"/> Area ardida buffer	or <input type="radio"/> Orientação ao vento FWI90	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9
6 <input checked="" type="radio"/> Ignicoes buffer	or <input type="radio"/> Orientação ao vento FWI90	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/> 6 <input type="radio"/> 7 <input type="radio"/> 8 <input type="radio"/> 9

CR = 0.8% OK

☐ dec. comma

**Figura 10** - Exemplo do processo de definição das ponderações para as variáveis do tema Fogo.

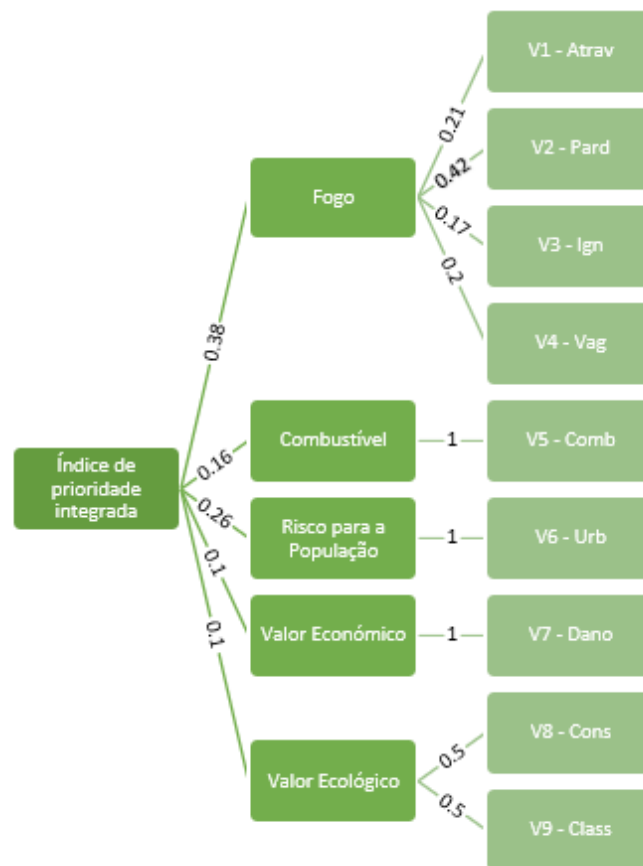
### Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons

Category	Priority	Rank
1 Area ardida atravessamento	19.5%	2
2 Area ardida buffer	43.4%	1
3 Ignicoes buffer	17.7%	4
4 Orientação ao vento FWI90	19.5%	2

**Figura 11** - Ponderações para as variáveis 1 a 4, resultantes do processo da figura 10.

As ponderações obtidas pelo método do AHP para cada variável e tema estão representadas na figura 12, onde por exemplo V1 = Variável 1 e Atrav = Área ardida acumulada de atravessamento (ver secção 3.2.). De realçar os pesos dados ao tema do fogo, com um valor de 0.38; e ao do perigo para a população, com um valor de 0.26. Tal explica a grande importância dada a variáveis respeitantes ao padrão histórico dos incêndios e ao grau de presença de áreas de potencial risco em volta das áreas urbanas. Os outros temas têm menor importância, como o tema do combustível (peso de 0.16) e com valor de 0.1 os temas do valor económico e valor ecológico.

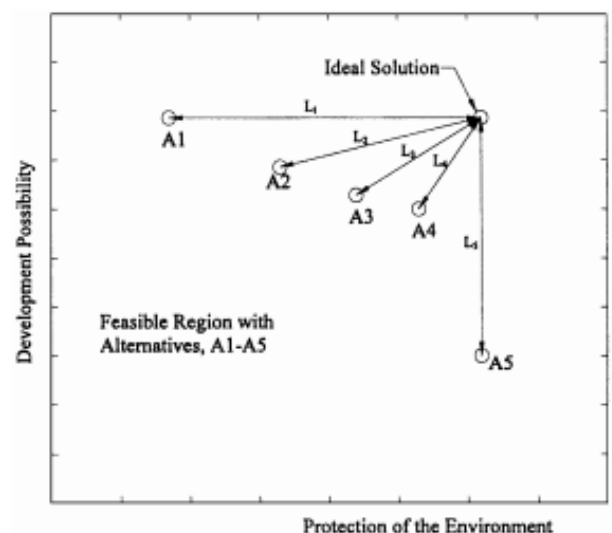


**Figura 12** – Esquema de ponderação com os 5 temas e 9 variáveis usadas para cálculo do índice de prioridade integrado.

### 3.5. Cálculo do índice de prioridade

Definidos os valores de ponderação para cada tema e variável pelo método do AHP, foi usada a programação composta e calculada a distância ao ponto ideal, de forma a definir os valores do índice de prioridade integrada para cada segmento, com valores normalizados entre 0 e 1.

A tomada de decisão multicritério inclui várias alternativas, como a programação composta (*Composite programming*), que é o método aqui usado e que é baseado no cálculo da distância multidimensional ao ponto ideal (Bardossy *et al.*, 1985). A *Composite programming* usa métricas de distância (determinam a distância entre as diferentes soluções e a solução ideal),



**Figura 13** - Esquema gráfico da programação composta, com A=alternativas e L=métrica de distância. Fonte: Prodanovic e Simonovic, 2003

que é neste caso aquela que possui uma menor distância vetorial ao ponto/solução ideal (Pereira e Duckstein, 1993) e terá então um maior valor (Prodanovic e Simonovic, 2003), sendo designado pelo método da distância ao ponto ideal. Na figura 13 vemos um exemplo da solução ideal, que neste caso corresponde à maximização de dois objetivos e 5 diferentes alternativas. A alternativa 4 é aquela com menor distância à solução ideal, logo será a solução de compromisso. Na situação da rede primária cada segmento é uma alternativa e cada variável/tema um critério de avaliação.

A programação composta é um desenvolvimento da programação compromisso, sendo esta última um método de análise multicritério baseada no cálculo duma distância multidimensional ponderada a um ponto ideal, também ele multidimensional. A programação composta é feita de forma hierárquica (Zeleny, 1982), com dois níveis: O dos temas (o nível mais alto da hierarquia) e o das variáveis (nível mais baixo da hierarquia). Começa por aplicar a programação de compromisso internamente a cada um dos 5 temas, que incluem entre 1 e 4 variáveis por tema. Para cada segmento foi obtido um valor numérico para cada um dos 5 temas (índice de prioridade temático). É depois aplicada uma segunda ronda da programação de compromisso, em que cada segmento é caracterizado pelos valores dos 5 índices temáticos para obter o índice de prioridade final. O anexo 5 inclui uma explicação mais detalhada do processo de programação composta.

Neste trabalho, as alternativas foram vetores com os valores de cada variável/tema e a solução ideal um vetor com todos os valores iguais a 1 (valor máximo). Um maior valor da variável corresponde a um ponto mais próximo dos valores máximos. Os valores da escala natural para cada tema e variável foram normalizados entre uma escala 0-1, calculados da seguinte fórmula:

$$\text{Normalização da variável } x = \frac{\text{Valor do segmento}}{\text{Valor máximo/submáximo de } x *}$$

*\*Nem sempre é o valor máximo que se aplica, sendo por vezes normalizada por um valor submáximo por haver outliers com valores muito elevados (e.g. variável 3).*

Todos os valores normalizados têm valores entre 0 e 1. Cada variável tem o seu valor máximo de normalização, estando todos os intervalos no anexo 6. Para a variável 1 por exemplo, o intervalo de normalização é de 0 a 80000 hectares. O valor de 0 ha é o valor 0 da normalização, enquanto 80000 ha correspondem ao valor 1. Todos os valores entre estes encontram-se entre 0 e 1. Os valores mínimo/médio/máximo, bem como a mediana das variáveis para o total da rede estão no anexo 6.

A distância ao ponto ideal é calculada em função destes valores normalizados e do peso atribuído a cada variável/tema. Foi este o método usado para o cálculo do índice de prioridade integrado, que

foi depois normalizado, e que se calcula então da seguinte forma, em que  $i$  = variável/ tema;  $P$ =peso atribuído (ver figura 12);  $V$ =valor da variável/tema:

$$IP = \sqrt{\sum_i P_i^2 \times (1 - V)^2}$$

A metodologia da distância ao ponto ideal foi aplicada para obter os índices de prioridade temáticos e depois, a partir destes, para obter o índice de prioridade integrado. O processo de cálculo para cada tema encontra-se no anexo 7. O índice temático do fogo e do valor ecológico serão normalizados, uma vez que incluem duas ou mais variáveis. Os cálculos foram efetuados no Microsoft Excel 2016 e passados para formato csv para fazer depois uma união de tabelas no QGIS, usando o identificador dos segmentos.

### 3.6. Limiares usados para definir a rede estruturante

A rede estruturante é definida pelos troços de maior prioridade integrada. Por razões de consistência com o projeto de redimensionamento da rede do ICNF (ver página 11), foi usado o mesmo limiar de prioridade para identificar os troços estruturantes (índice de Prioridade  $\geq 0.618$ ). O valor de 0.618 representa aproximadamente o limiar do terço superior dos troços com maior índice de prioridade da rede estruturante da fase 1. Apesar de o valor correspondente ao limiar do terço superior da rede estruturante da fase 2 não ser igual, foi usado o valor da fase 1 para efeitos de uniformização das redes. A rede primária da fase 2 inclui também outros segmentos de ligação entre segmentos estruturantes com valor inferior a 0.618.

### 3.7. Índice de custo integrado e índice de custo-benefício

As duas variáveis de custo (o custo de indemnização e o custo de execução e manutenção), foram usadas para o cálculo do índice de custo integrado e custo-benefício para cada segmento, cujos valores servem para definir os troços de conexão entre os segmentos prioritários, criando a rede estruturante. Estas variáveis não entraram no cálculo do índice de prioridade integrado pois nesta metodologia procurou-se uma decisão estritamente técnica, não levando em conta os custos.

A junção das duas variáveis cria um índice de custo integrado, calculado para cada troço. Foi dada uma ponderação de 0.7 para os custos de indemnização e de 0.3 aos custos de execução e manutenção, o que significa que se considerou que a indemnização tem um custo aproximadamente 2.5 vezes superior ao da execução e manutenção a 10 anos (fonte – estudo da Ordem dos Engenheiros sobre o problema dos fogos em Portugal, transmitido pelo ICNF). O processo de cálculo



é o seguinte, em que se usam os valores das variáveis normalizados (*Norm*), onde “CosExMa” são os custos de execução e manutenção e “CosInd” são os custos de indemnização:

$$\text{Índice de custo integrado} = \sqrt{0,3^2 * \text{CosExMa}_{Norm}^2 + 0,7^2 * \text{CosInd}_{Norm}^2}$$

Os cálculos foram efetuados no Microsoft Excel 2016 e passados para formato csv para fazer depois uma união de tabelas no QGIS, usando o código de identificação dos segmentos. De referir que o índice de custo foi posteriormente normalizado numa escala de valores 0-1.

Foi de seguida calculado o índice de custo-benefício, fazendo um quociente entre o custo total do segmento e o índice de prioridade integrada. O índice de custo-benefício tem como objetivo ser a base do algoritmo de otimização a usar, sendo a variável a otimizar, permitindo a definição dos segmentos de rede adicionais aos segmentos prioritários (com valor superior a 0.618). Estes segmentos adicionais não são prioritários, tendo valores inferiores a 0.618, e que mediante o seu custo são ou não selecionados para a rede primária estruturante. O custo total será normalizado antes do cálculo do índice de custo-benefício (Índice CB), que também será normalizado no final. A fórmula é a seguinte:

$$\text{Índice CB} = \frac{\text{Custo total do segmento}}{\text{índice de prioridade integrado}} = \frac{\text{Custo} * \text{Área do segmento}}{\text{Índice de prioridade integrado}}$$

### 3.8. Rede subtraída

A rede subtraída, tal como o nome indica, provém da necessidade de retirar aos limites das bacias hidrográficas da área de estudo total a área que cruza ou que se encontra a curta distância da rede que o ICNF tem já planeada ou construída no terreno. Essa rede não foi definida pelo mesmo processo que a apresentada neste trabalho, pelo que será excluída. Tal foi efetuado originando uma envolvente de 125 m à volta dos segmentos da rede primária do ICNF e depois a subtração a esta rede dos segmentos para todo o país originando o que se chamou de “rede subtraída”, ou seja, aquela existente onde não existia a rede primária do ICNF. Foi depois efetuado um processo de eliminação de eventuais segmentos que se encontravam isolados em áreas do território com rede projetada pelo ICNF.

### 3.9. Algoritmo de Steiner

Foi usado o algoritmo de Steiner implementado no GRASS<sup>2</sup>. Uma árvore de Steiner calcula uma rede de vetores de custo mínimo, conectados entre si por nós, com o objetivo de encontrar qual a

---

<sup>2</sup> Disponível em: <https://grass.osgeo.org/grass74/manuals/v.net.steiner.html>

sequência de linhas que minimiza o custo/quantidade de dado produto a usar (Gilbert e Pollak, 1968). Aqui, o algoritmo foi usado para juntar os segmentos prioritários da rede primária da fase 2 (índice de prioridade  $\geq 0.618$ ) numa rede conectada. Quando necessário para assegurar a conexão, o algoritmo inclui segmentos não prioritários, conforme o seu índice de custo-benefício. Os custos são valores numéricos, provenientes de superfícies vetoriais (como comprimento de linhas) ou de tabelas de atributos.

De notar que este algoritmo apenas foi usado na rede subtraída, aquela que excluiu os troços pré-existent da rede do ICNF. É necessária também uma rede de pontos de início e fim de cada segmento, tendo então cada segmento 2 pontos associados.

Ainda a referir que o cálculo deste algoritmo se deve realizar por componentes, pois os segmentos da rede estruturante não estão todos ligados entre si. As componentes são conjuntos de segmentos ligados entre si e que estão separadas de outros conjuntos, funcionando aqui como entidades independentes. Existem no total da rede 5 componentes com segmentos prioritários. Após o cálculo do algoritmo para cada componente os segmentos seleccionados foram unidos e assim criada a rede de segmentos total para Portugal Continental.

### 3.10. Criação da rede primária estruturante da fase 2

A rede obtida pelo algoritmo de otimização de Steiner, foi revista de modo a retirar alguns segmentos pouco importantes ou com grandes custos adicionais:

- Todos os segmentos com prioridade inferior a 0.5 foram considerados como de baixa prioridade e foram eliminados da rede estruturante final.
- Para os segmentos com valores de prioridade situados entre 0.5 e 0.618, foram eliminados aqueles que não conectassem segmentos prioritários entre si, ou seja, aqueles que estivessem isolados de outros segmentos, não intersectando nenhum. Foram também eliminados os segmentos que apenas numa extremidade se ligam a segmentos prioritários; para reduzir os custos de indemnização, construção e manutenção da rede total e concentrar os troços nos segmentos prioritários. Por fim serão eliminados os troços que não tenham sido excluídos nos passos anteriores, mas com mais de 20 quilómetros de extensão, pois tais troços acarretam grandes custos de construção e manutenção.

A rede resultante após estas operações é a Rede Primária Estruturante final da fase 2, que será apresentada na secção de Resultados, e à qual serão feitas análises considerando valores de prioridade e custos; ocupação do solo; rede de estradas e características e formas do terreno (como se verá de seguida).

### 3.11. Análise da rede obtida

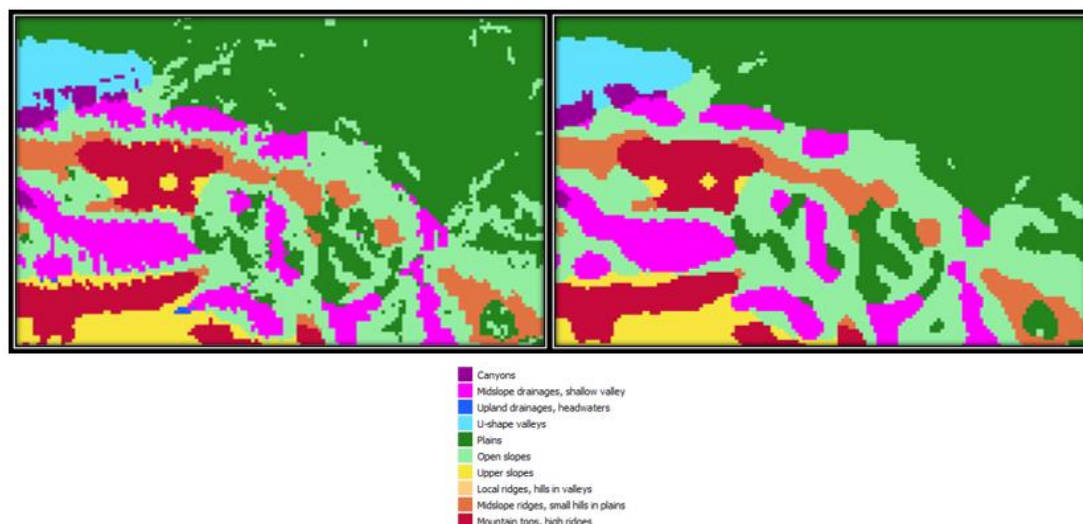
#### 3.11.1. População na área de influência

Para a definição desta variável foi feito o corte das subsecções estatísticas relativas aos Censos 2011 (INE,2011) pelos polígonos da área de influência para cada segmento das duas redes estruturantes: a proveniente da rede proposta pelo ICNF e da aqui proposta. Para cada segmento e para o total da rede primária foi definido um valor de população residente total, bem como o número de edifícios clássicos e o valor de densidade populacional de acordo com as definições do INE, entre outros.

#### 3.11.2. Tratamento do ficheiro de formas do terreno (Landforms)

O ficheiro de formas do terreno (Landforms), criado usando o algoritmo de Weiss (2001), usa como base o modelo de elevação do terreno para Portugal Continental para criar uma classificação de formas do terreno. Este ficheiro, em formato *raster* de 25 metros de resolução, inclui pixels de dimensão muito fina que são por vezes pouco representativos da paisagem, aparecendo isolados dentro do território de outras classes.

Para eliminar estes pixels indesejados foi aplicado, usando o software ENVI 4.5 (ENVI 4.5, Exelis Visual Information Solutions, Boulder, Colorado), um *kernel* de diferentes dimensões (3x3; 5x5; 7x7) através de um filtro/análise de maioria (*Majority analysis*). O *kernel* analisa para cada pixel aqueles que o circundam (por exemplo, no caso 3x3, os 9 pixels circundantes) e dá como resultado a classe representada pela maioria desses pixels. A figura 14 foca-se numa dada região aleatória e compara o efeito dos diferentes filtros:



**Figura 14** – Comparação do ficheiro de formas do terreno original (à esquerda) com a opção de análise de maioria escolhida (*kernel* 5x5), para a região de Figueira da Foz (Centro de Portugal).

O *kernel* escolhido para aplicação foi o de 5x5, permitindo um meio-termo entre a simplificação das formas do terreno e do nível de eliminação de pixels. Usando esse filtro, obteve-se o ficheiro Landforms final, que não foi usado para definir as ponderações e definir os segmentos prioritários, mas apenas para a análise da rede primária estruturante obtida e dar informações úteis para o planeamento local da construção de faixas de gestão de combustível.

### 3.11.3. Rede sobre zonas condicionantes à instalação da rede primária de FGC

Existem certas condicionantes para a instalação de uma rede primária de FGC, como sejam áreas de declive transversal superior a 25%; territórios sem rede viária florestal fundamental; povoamentos de valor de conservação relevante, entre outros (ICNF,2014). Nem todas estas condicionantes serão analisadas, pois não têm dados disponíveis. Foram escolhidas 4 diferentes áreas geográficas para análise, vendo qual a área que ocupam na área designada (125 m de largura) à rede primária estruturante. Estas áreas são: Florestas de outras folhosas; florestas de outros carvalhos; áreas classificadas (Inclui Áreas Protegidas; Reservas da Biosfera; SIC; ZPE e zonas RAMSAR) e áreas com declive superior a 25 %.

### 3.11.4. Rede de estradas

Como explicado na secção de Dados, a rede de estradas foi obtida fazendo uma seleção de algumas classes de estradas da rede total do *Open Street Maps* de toda a área de estudo. Este ficheiro será utilizado para definir uma variável de análise da rede estruturante final.

A variável escolhida para análise foi a da extensão de estradas por unidade de área de cada troço. A extensão de estradas está definida na unidade de quilómetros (km) e diz respeito às estradas que se cruzam com cada troço, ou seja, com um comprimento de 125 metros à volta do segmento. A área do troço é definida em hectares (ha).

### 3.11.5. Manchas de combustível

As manchas de combustível são de grande importância para definir quais as localizações mais críticas para a proteção das populações e das suas habitações, não tendo sido porém utilizadas para o cálculo do índice de prioridade integrado, para manter a consistência deste com a rede estruturante do processo de redimensionamento.

Aqui, combustível designa as áreas das megaclasses de Florestas; Matos, bem como a classe “Vegetação herbácea natural”, tal como definidas pela COS 2015 (ver mais detalhes no anexo 2). Para a definição das manchas, foi criada uma grelha de quadrados de 1 km de largura para a área de estudo total. A esta grelha foi cruzado o ficheiro *raster* da área de combustíveis. De notar que a

resolução espacial deste ficheiro é de 20 metros, pelo que cada quadrícula da grelha incluirá no máximo 2500 pixels (caso toda a área seja ocupada por combustível). O cálculo da percentagem de área ocupada por combustíveis é o seguinte:

$$\text{Área ocupada por combustíveis (\%)} = \frac{\text{Soma de pixels de combustível}}{2500} * 100$$

Foram escolhidas apenas as quadrículas com uma percentagem de área de combustíveis acima de 80%. Áreas sem combustíveis dentro das manchas foram eliminados, para simplificar o desenho das manchas. Estas foram transformados para formato de pontos, necessário para calcular a densidade do *kernel*, pelo atributo da área de combustível e que dá como resultado um ficheiro *raster*, com resolução espacial de 1 quilómetro. Este ficheiro inclui as manchas de combustível finais, apresentadas na figura 30 (nos resultados).

## 4. Resultados

### 4.1. Rede Primária

#### 4.1.1 Rede Primária Total da fase 2

A rede primária total obtida através do processo descrito na secção de Métodos (denominada fase 2 – ver Nomenclatura na página 18), pelo método de delineamento das bacias hidrográficas, apresenta-se na figura 15. Tem um comprimento total de 47408 quilómetros e um total de 5730 segmentos individualizados (cortados pelas interseções com outras linhas). Tal perfaz um comprimento médio de 8,3 quilómetros para cada segmento. A área associada, caso a todos os segmentos fosse aplicado um corredor de 125 metros de largura (definida como padrão para a rede primária), seria de 514597 hectares.

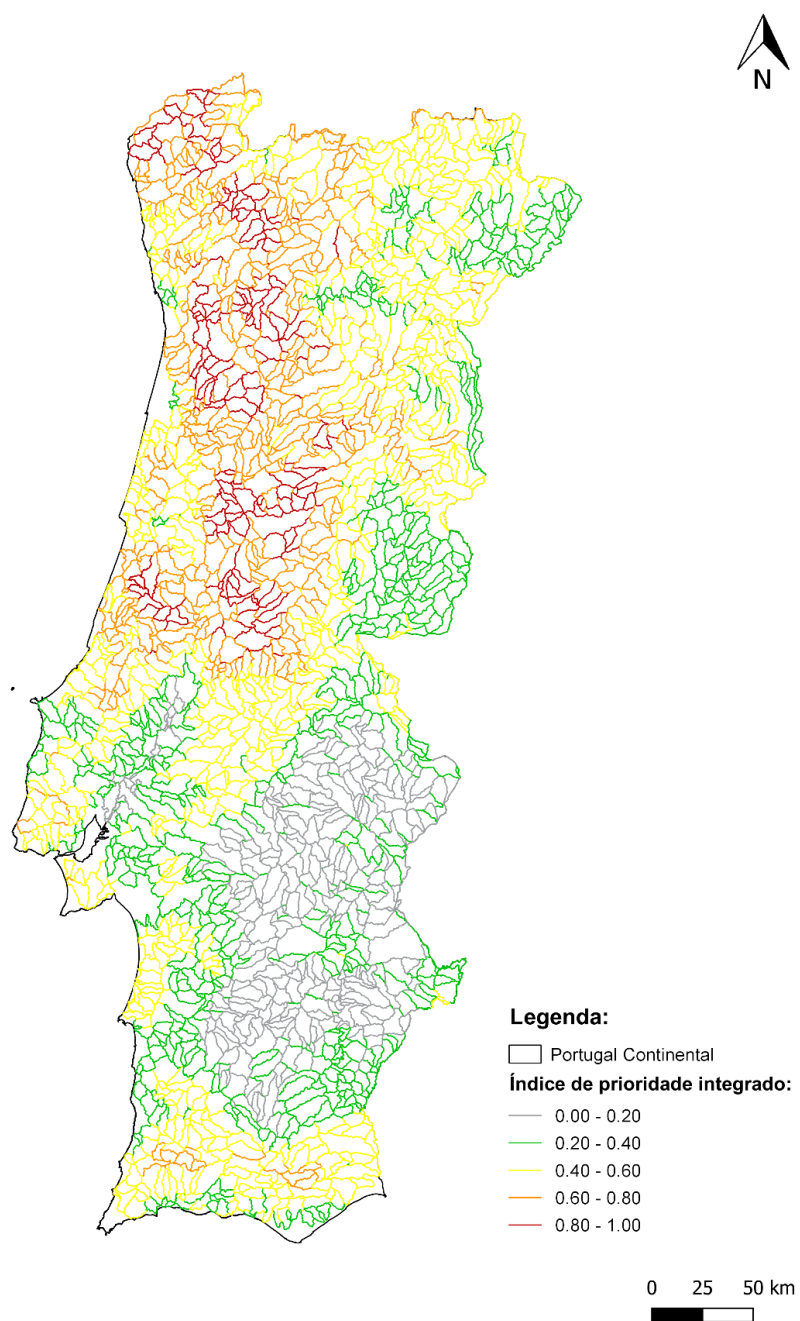
A cada segmento está associado um dado valor de índice de prioridade integrado, usando os diferentes temas, que agrupam em si uma ou mais variáveis, como visto anteriormente. A figura 15 representa a rede primária total com uma escala graduada dos índices de prioridade associados a cada segmento. Mapas com escalas semelhantes para cada variável estão presentes no anexo 8.

À escala nacional, valores maiores do índice de prioridade encontram-se em áreas:

- Com área ardida acumulada elevada, como no Pinhal Interior e na parte serrana do Algarve;
- Em áreas com elevado número de ignições, onde a densidade populacional é elevada, como no Norte e Centro Litoral;

- Em áreas montanhosas do Norte e Centro Litoral, onde a ocupação do solo é de Matos ou vegetação herbácea.

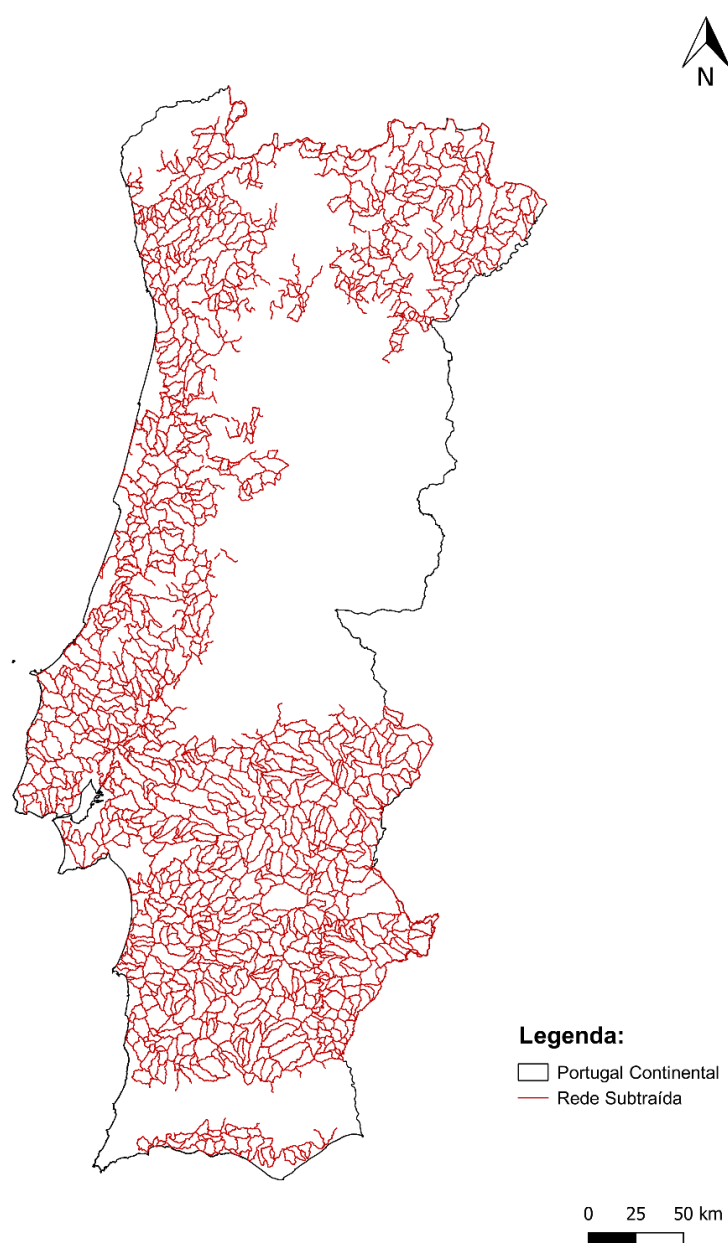
Por outro lado, valores pertencentes ao terço inferior do índice de prioridade encontram-se na Lezíria do Tejo; Alentejo Interior a sul de Portalegre e áreas da Beira Baixa.



**Figura 15** - Rede primária total classificada por classes de índice de prioridade integrada (5 classes- 0 a 0.2; 0.2 a 0.4; etc.)

#### 4.1.2. Rede subtraída

Do total da rede primária foram subtraídos os segmentos que sobrepunham a rede primária criada pelo ICNF, criando um buffer de 125 metros à volta da rede já existente e da que foi aqui criada, como visto anteriormente. Os segmentos da rede primária total que se sobrepõem à rede já existente do ICNF são eliminados, tendo como resultado o que será aqui chamado de “rede subtraída”. Esta rede está representada na figura 16. Tem 32404 km de extensão total, em 4165 segmentos, com um comprimento médio por segmento de 7,8 km, próximo do valor do comprimento médio para a rede total. A área associada a uma largura de 125 metros que rodeiam o segmento é de 351363 hectares. Será desta rede que será obtida a rede primária estruturante.



**Figura 16** - Rede subtraída para a totalidade de Portugal Continental.

Esta rede concentra-se agora na região litoral do Algarve, bem como no Alentejo Central e Baixo Alentejo; extensas áreas de Trás-os-Montes e no Centro e Norte Litoral, exceto em algumas áreas do Alto Minho. Os resultados esperados de tal distribuição no território são bastante díspares, como indica a existência de dois “picos” na distribuição de frequências dos valores do índice de prioridade por segmento do quadro 5.

O primeiro “pico” ocorre no intervalo 0.15 a 0.199, sendo este um intervalo de valores bastante baixo. Estes segmentos, com poucas exceções, encontram-se precisamente na região do Alentejo e no vale do Tejo; associadas a uma baixa ocorrência de incêndios, tanto em área ardida como no número de ignições, o que faz diminuir o valor das variáveis associadas à componente fogo do índice. O outro “pico” ocorre no intervalo 0.4 a 0.449 e está associado a áreas intermédias, compondo alguns segmentos do Alentejo Litoral e de Trás-os-Montes, onde a densidade populacional e a frequência de incêndios é baixa; e alguns segmentos do Centro Litoral, onde o número de ignições é elevado, bem como a área de combustíveis a menos de 500 m de áreas urbanas.

Por fim, segmentos com prioridade acima de 0.7 compõem 9,4 % dos segmentos e 12,4 % da área associada, ocorrendo exclusivamente no Centro e Norte Litoral, embora um pouco afastados do oceano; estando associados a grandes valores de ignições, mas não tanto de área ardida acumulada. As categorias com valores extremos, para segmentos com um índice menor que 0.05 ou superior a 0.95, são aquelas com menor frequência para todas as variáveis. Estes valores permitem concluir que em geral o nº de segmentos está diretamente relacionado com o comprimento total destes, e que o comprimento médio para cada segmento não apresenta variações significativas entre as diferentes classes de índice de prioridade integrado.

**Quadro 5** - Rede subtraída: Nº; comprimento e área total dos segmentos agrupados em classes definidas pelos índices de prioridade integrado de cada segmento.

Índice de prioridade integrado	Nº de segmentos	Comprimento (km)	Área total dos segmentos (125 m de largura) - ha
0 - 0.049	8	27	300
0.05 - 0.099	121	778	8540
0.1 - 0.149	253	2172	23682
0.15 - 0.199	408	3759	40578
0.2 - 0.249	346	2644	28582
0.25 - 0.299	266	1978	21401
0.3 - 0.349	329	2460	26861
0.35 - 0.399	354	2822	30460
0.4 - 0.449	403	3146	33852
0.45 - 0.499	295	2317	25282
0.5 - 0.549	270	1958	21369
0.55 - 0.599	197	1546	16736
0.6 - 0.649	188	1474	15788
0.65 - 0.699	176	1325	14495
0.7 - 0.749	161	1227	13334
0.75 - 0.799	140	960	10211
0.8 - 0.849	131	1029	11235
0.85 - 0.899	73	520	5734
0.9 - 0.949	35	207	2297
0.95 - 1	11	58	626
<b>Total</b>	<b>4165</b>	<b>32404</b>	<b>351363</b>

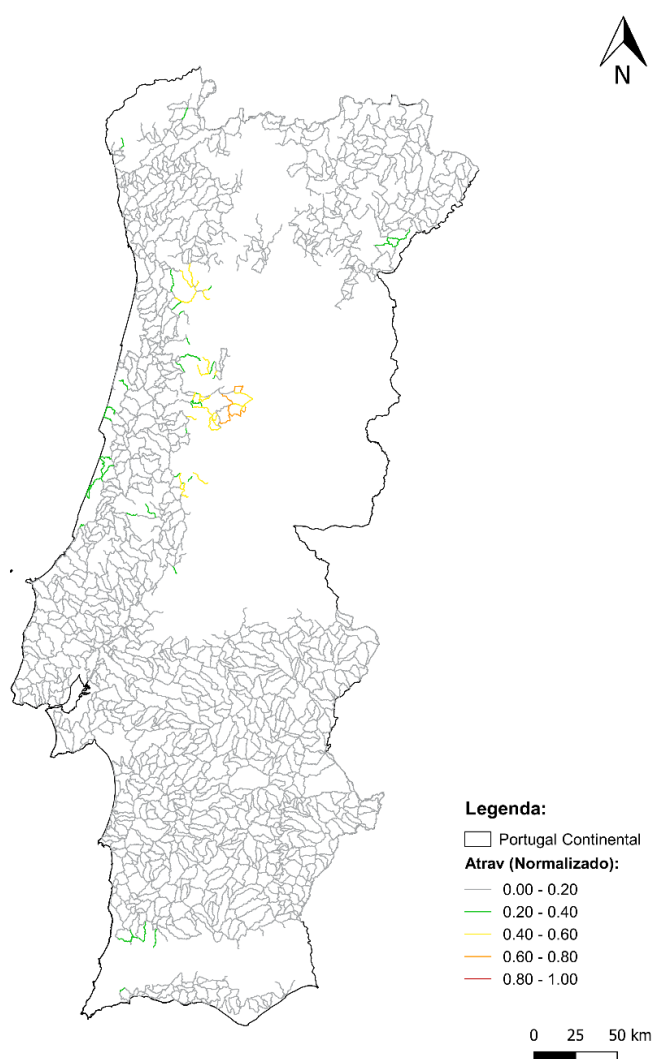


#### 4.1.3. Prioridades temáticas (Temas e variáveis)

Aqui serão apresentados os mapas para o território de Portugal Continental para cada um dos 5 temas e também de algumas variáveis, escolhidas tanto pelo seu padrão de distribuição, bem como pela sua importância, de acordo com o território associado à rede subtraída.

##### 4.1.3.1. Tema do Fogo

##### 4.1.3.1.1. Variável 1 – Área ardida acumulada de atravessamento (Código Atrav)

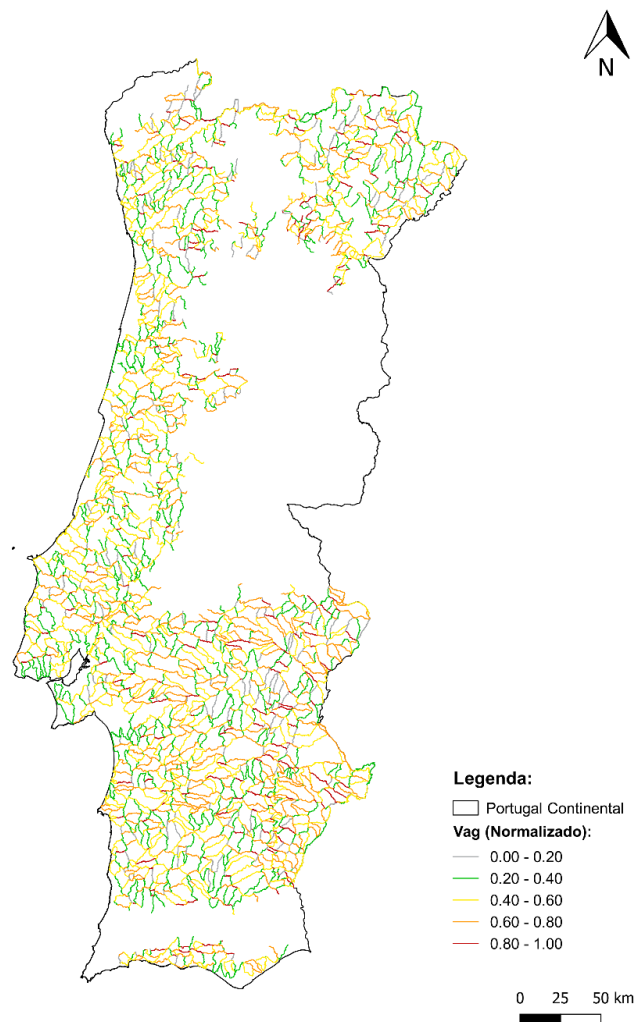


**Figura 17** - Variável 1 (Atrav) com valor relativo (0-1) normalizado

Esta variável define qual a área total de cada incêndio superior a 5 hectares que atravessou o troço no intervalo de tempo 1975-2017, tendo bastante importância na definição das regiões onde são mais comuns grandes incêndios e onde a rede primária pode ter um grande contributo. No caso da rede primária estruturante:

- A larga maioria (cerca de 90%) dos troços tem um valor bastante baixo, inferior a 0.2, não havendo qualquer troço com um valor superior a 0.8. A grande presença humana na região da rede primária contribui para menores áreas contínuas de combustível, cortadas por grandes áreas de povoamento disperso conectadas entre si e muitas vias de comunicação; ou no caso do Alentejo uma ocupação do solo dominante de montado, pastagem e agricultura, com pouca frequência de incêndios.
- Porém, em algumas regiões esta variável atinge valores superiores a 0.4, associados a grandes incêndios ocorridos no passado, por vezes apenas um. Tal é o caso dos grandes incêndios de 2017 na região de Leiria e Coimbra, e do incêndio de 2016 na serra da Freita, em Arouca.

#### 4.1.3.1.2. Variável 4 – Orientação em relação ao vento dominante em dias de alto risco (Código Vag)

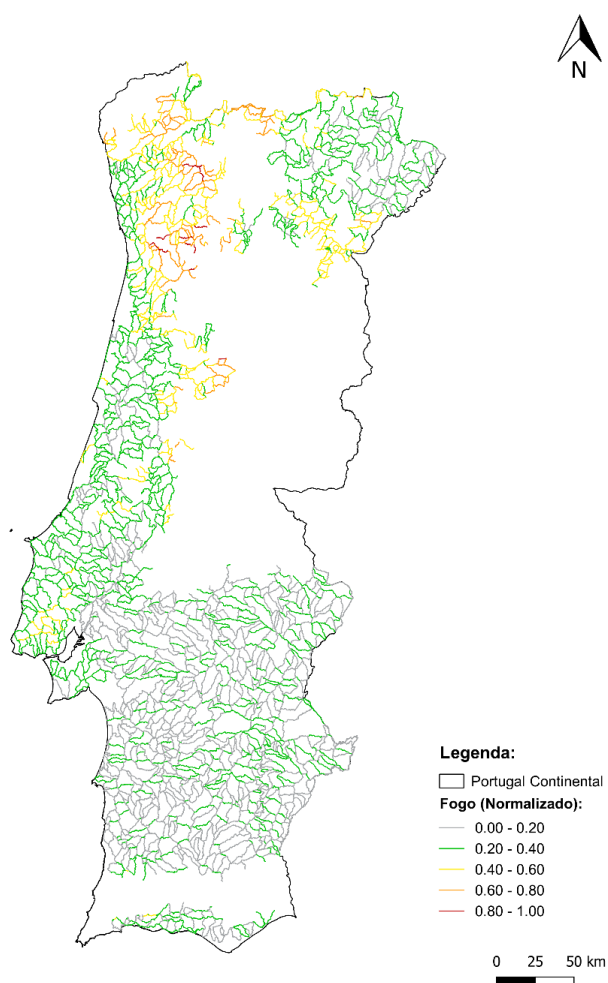


**Figura 18** - Variável 4 (Vag) com valor relativo (0-1) normalizado

A variável 4 está associada à orientação do troço em relação à orientação do vento dominante em situações de grande risco de incêndio, aqui definidas pelo nº de dias em que o FWI é superior ao percentil 90. Tal permite conhecer a utilidade de certos troços para parar/ajudar a combater grandes incêndios, muito associados a estes dias de risco.

- Os troços com maiores valores (maior ângulo) são aqueles perpendiculares ao regime de vento Norte/Sul, que são os ventos dominantes com um FWI superior ao percentil 90. Estes estão presentes um pouco por toda a área de estudo, sem destaque para determinada região. Na região mais interior, pouco coberta por esta rede, os maiores valores seriam aqueles perpendiculares à direção do vento Leste/Oeste.
- Nas 3 classes intermédias (entre 0.2 e 0.8), há uma distribuição semelhante de valores, tendo cada uma destas classes cerca de 200 segmentos cada (26% do total aproximadamente), novamente não exibindo nenhum padrão específico.

#### 4.1.3.1.3. Tema do Fogo – valor total

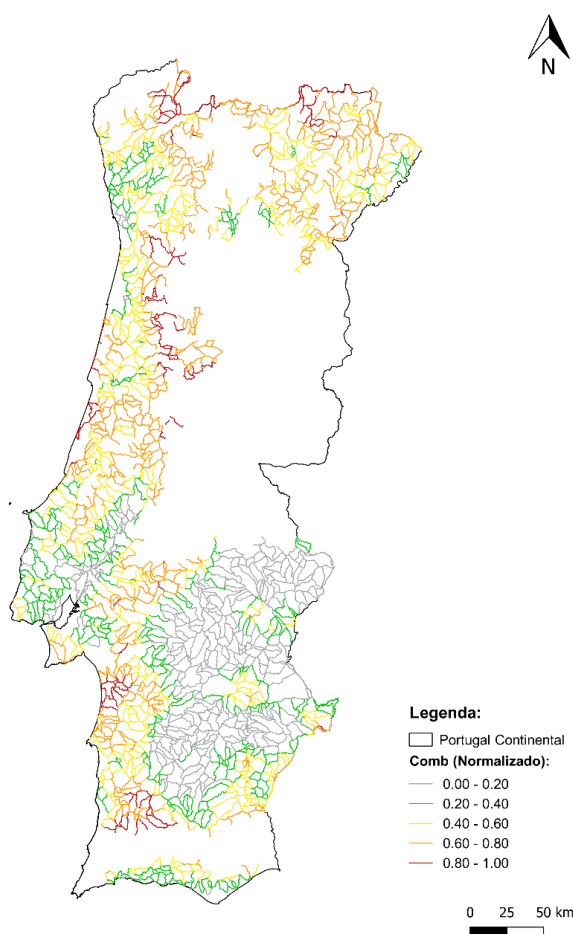


**Figura 19** - Tema do Fogo classificado por valor relativo (0-1) normalizado

Relativamente aos segmentos da rede primária estruturante classificados pelo tema do Fogo, que engloba em si 4 variáveis, das quais 2 foram já discutidas em pormenor; é visível que:

- Os segmentos com maiores valores se encontram no Norte Litoral, nomeadamente nas NUTS 3 Alto Minho; Ave; Tâmega e Sousa; Área Metropolitana do Porto. Também o interior da Região de Coimbra e o Alto Tâmega apresentam valores por vezes superiores a 0.6.
- Nestas NUTS do Norte Litoral, a variável que mais contribui para valores elevados do Fogo é a da densidade de ignições, enquanto a área ardida acumulada de atravessamento tem valores quase sempre menores que 0.2. Já a percentagem de área ardida tem valores elevados apenas nas zonas de montanha.
- Pelo contrário, no interior da Região de Coimbra a variável de atravessamento possui valores médios a elevados, bem como a variável da orientação em relação ao vento dominante graças à predominância de troços perpendiculares aos ventos dominantes Norte-Sul para FWI superior ao percentil 90.

#### 4.1.3.2. Tema do Combustível

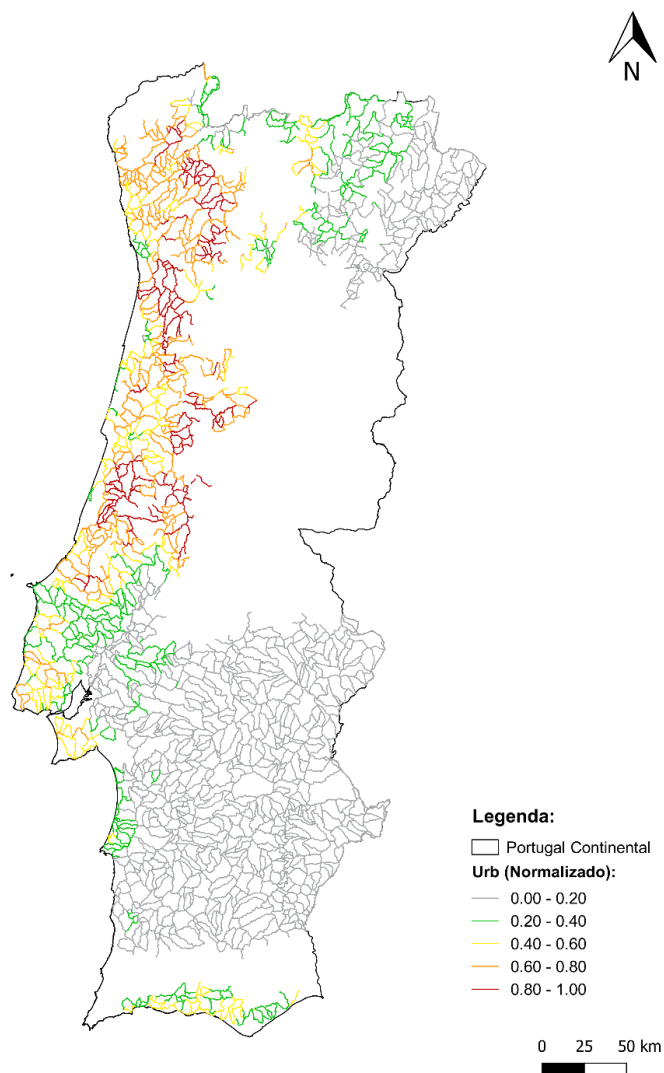


**Figura 20** - Tema do Combustível classificado por valor relativo (0-1) normalizado

O tema do Combustível, que contém em si apenas a variável 5 referente à percentagem de coberto combustível na área de influência, exhibe um padrão de distribuição de valores muito diferente, quase antagónico, do tema da Fogo. Este tema/variável permite conhecer quais as zonas onde os riscos de ocorrerem grandes incêndios podem ser maiores em casos extremos, pois poderão alimentar-se de mais combustível.

- Os menores valores concentram-se em áreas onde a densidade populacional é mais elevada e a ocupação do solo por terrenos artificializados é maior, nomeadamente em redor das Áreas Metropolitanas de Lisboa e do Porto; ou em áreas de menor densidade de pessoas e de combustível, como no vale do Tejo e no Alentejo Interior.
- Por sua vez, áreas fortemente florestadas, como a região afeta ao Pinhal de Leiria ou ao Pinhal Interior, bem como áreas onde o Eucalipto é dominante como o eixo Coimbra-Aveiro e o Alentejo Litoral, apresentam maiores valores relativos, excedendo 0.8. Também áreas onde o mato é dominante, como a Serra da Freita ou zonas circundantes ao Parque Nacional da Peneda-Gerês ou Montesinho têm valores pertencentes à gama mais elevada.

#### 4.1.3.3. Tema do Perigo para a população



**Figura 21** - Tema do Perigo para a população classificado por valor relativo (0-1) normalizado

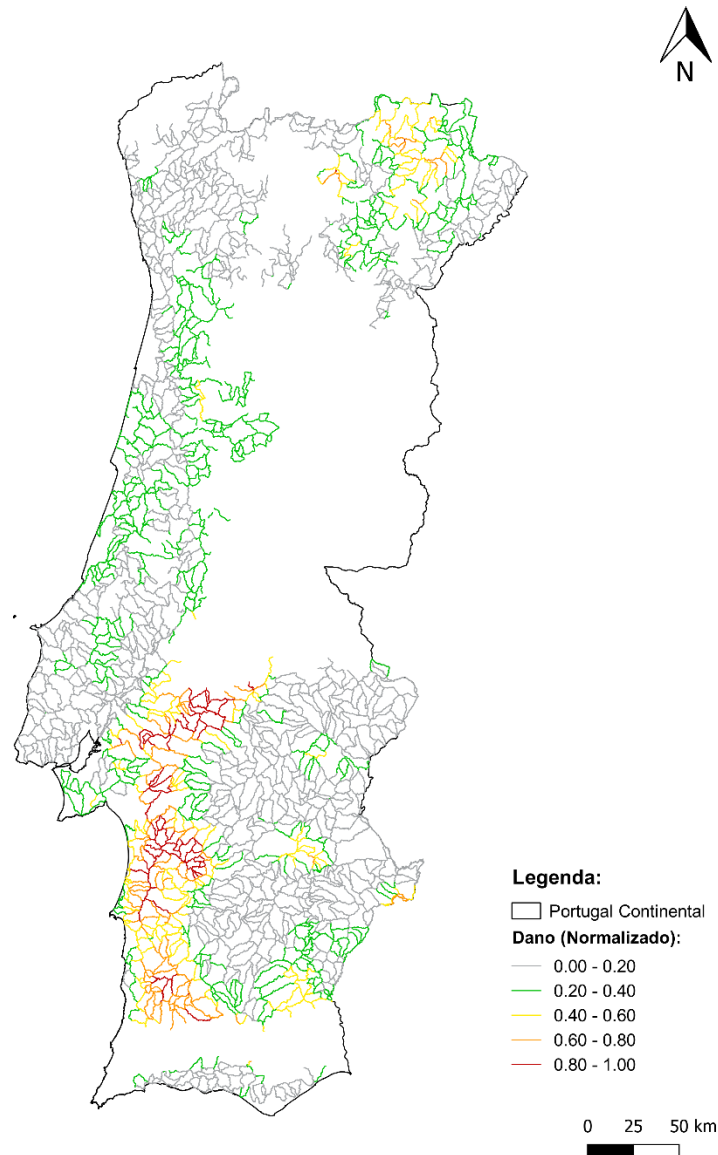
O tema associado ao Perigo para a população inclui apenas uma variável, a variável 6 referente à percentagem de matos e florestas presentes na área de influência a menos de 500 metros de áreas urbanas. Um grande valor desta variável temática pode significar um elevado *interface* urbano-rural, definido como o contacto muito próximo entre povoações e áreas florestadas ou de mato, que podem aumentar muito o risco para esta devido à proximidade com áreas de combustível.

Analisando este tema:

- Os maiores valores relativos desta variável encontram-se ao longo de todo o Centro e Norte Litoral, com maior predominância porém em algumas zonas já de transição entre litoral e interior.

- Valores menores estão associados a um menor número/área de povoações bem como a menos área de matos e florestas, localizando-se em Trás-os-Montes e no Alentejo.

#### 4.1.3.4. Tema do Valor económico



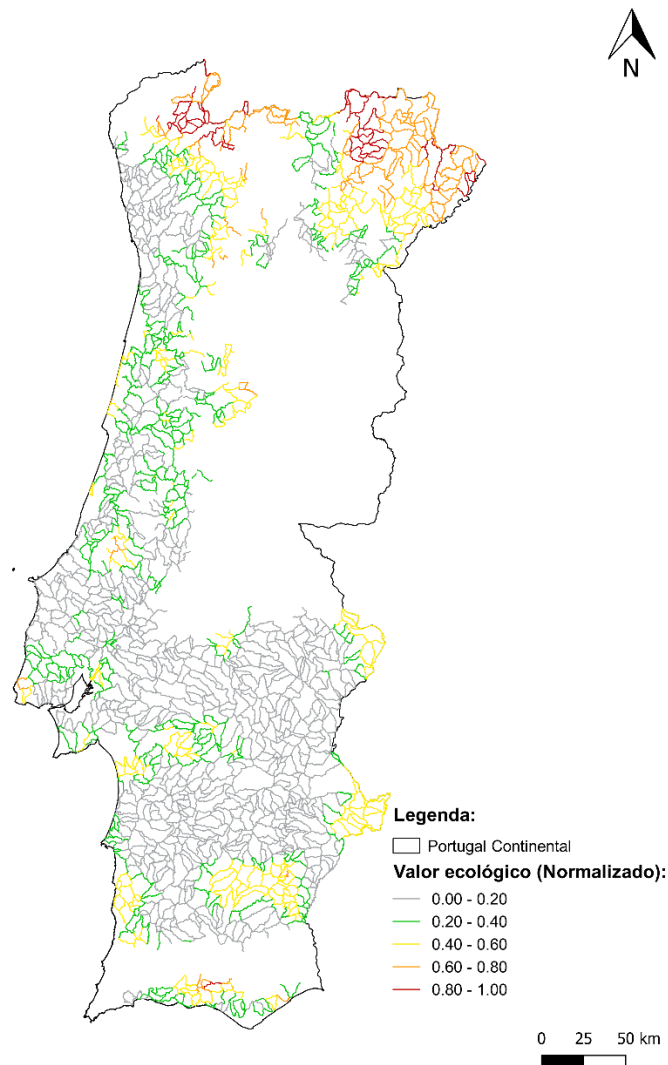
**Figura 22** - Tema do Valor económico classificado por valor relativo (0-1) normalizado

Este tema inclui a variável 7, do dano potencial florestal. Os resultados numéricos deste tema dependem do coberto florestal ou de matos de dada área de influência.

- Os valores são baixos para a maior parte do território, raramente ultrapassando 0.6. Tal acontece pois estas áreas são dominadas por cobertos vegetais com valor baixo de dano potencial, como os matos; florestas de azinheira; florestas de pinheiro-bravo ou de eucalipto.

- Valores mais elevados ocorrem no Alentejo Litoral e Ribatejo, fazendo uma sobreposição bastante exata com as áreas de floresta de sobreiro e pinheiro-manso. Valores elevados ocorrem também em áreas onde o coberto predominante é de castanheiros, como em Trás-os-Montes. Tais valores explicam-se por serem estas três espécies aquelas com maior valor monetário.

#### 4.1.3.5. Tema do Valor ecológico



**Figura 23** - Tema do Valor ecológico classificado por valor relativo (0-1) normalizado

Duas variáveis compõem este tema: O valor de conservação da floresta e a percentagem de área classificada, com igual peso cada.

- O valor de conservação diz respeito ao dano potencial das florestas de carvalhos e florestas de outras folhosas, dando especial relevo a esta última. Tem valores mais elevados no



interior da NUTS Alto Minho, Ave e Tâmega e Sousa; em alguns segmentos da Região de Coimbra e Viseu Dão-Lafões; no norte de Trás-os-Montes e no Algarve litoral.

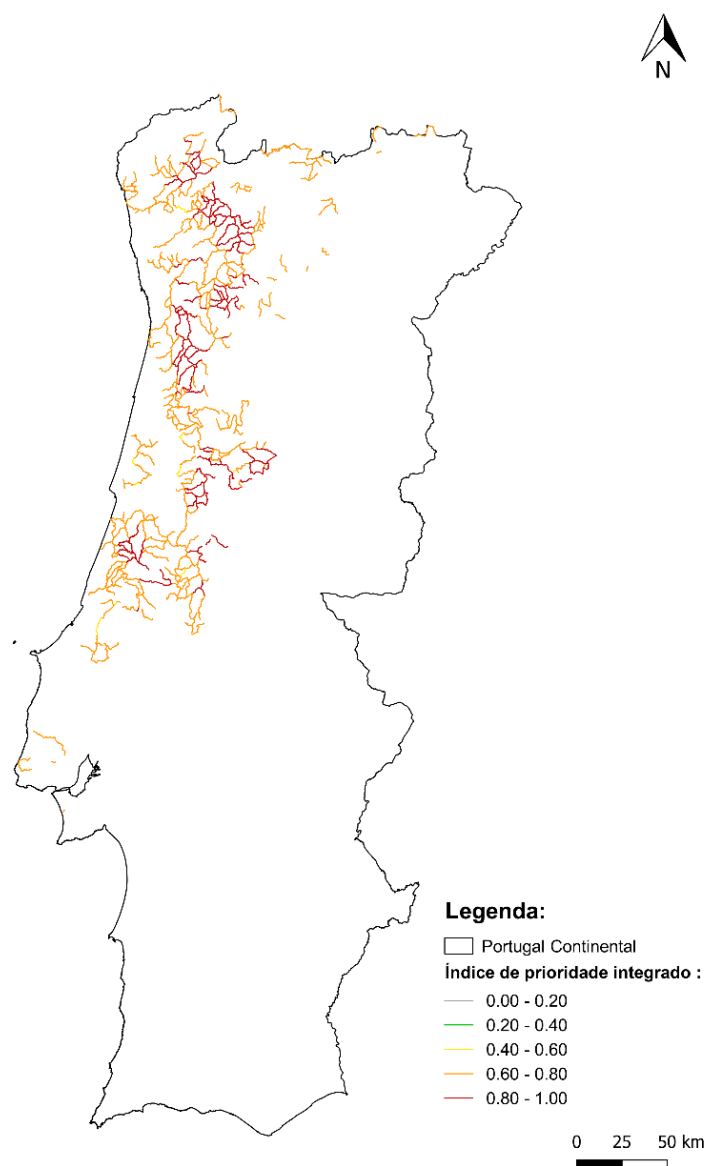
- A percentagem de área classificada diz respeito à presença de áreas com interesse ecológico na área de influência do segmento. Os valores mais elevados ocorrem em Trás-os-Montes; Peneda-Gerês e algumas áreas do sul do país, associadas a estuários ou zonas interiores.
- Quanto ao tema em si, os valores mais elevados verificam-se no Alto Minho; Trás-os-Montes e no Algarve. Com menor valor, mas ainda superior a 0.6, encontram-se segmentos nas faldas da Serra do Marão (Tâmega e Sousa), bem como em algumas áreas protegidas no Centro Litoral. Para o Alto Minho ambas as variáveis têm valores elevados, enquanto para as zonas referidas da região Centro e Sul (exceto Algarve) o valor de conservação tem um maior contributo.

#### 4.1.4. Rede primária estruturante

A rede estruturante final obtida para todo o território continental português apresenta-se na figura 24, classificada de acordo com o valor do índice de prioridade integrado. Os troços mais importantes dentro da rede estruturante encontram-se geralmente numa faixa de transição entre o litoral e o interior, e especialmente em terrenos mais montanhosos onde a utilização do fogo para renovo da pastagem tem uma grande importância, o que influencia o tema Fogo, aquele que maior importância tem na construção do índice de prioridade.

**Quadro 6** - Rede Estruturante: N.º; comprimento e área total dos segmentos, agrupados em classes definidas pelos índices de prioridade integrado de cada segmento.

Índice de prioridade integrado	Nº segmentos	Comprimento (km)	Área total dos segmentos (ha, para 125 m circundantes)	Índice de custo integrado médio associado
0-0,617	24	127	1492	0,232
0.618-0.649	96	784	8477	0,317
0.65-0.699	154	1161	12735	0,344
0.7-0.749	136	1050	11539	0,373
0.75-0.799	123	812	8965	0,374
0.8-0.849	113	913	10075	0,392
0.85-0.899	66	483	5322	0,326
0.9-0.949	32	196	2177	0,311
0.95-1	11	58	626	0,292
Total	755	5584	61408	0,351



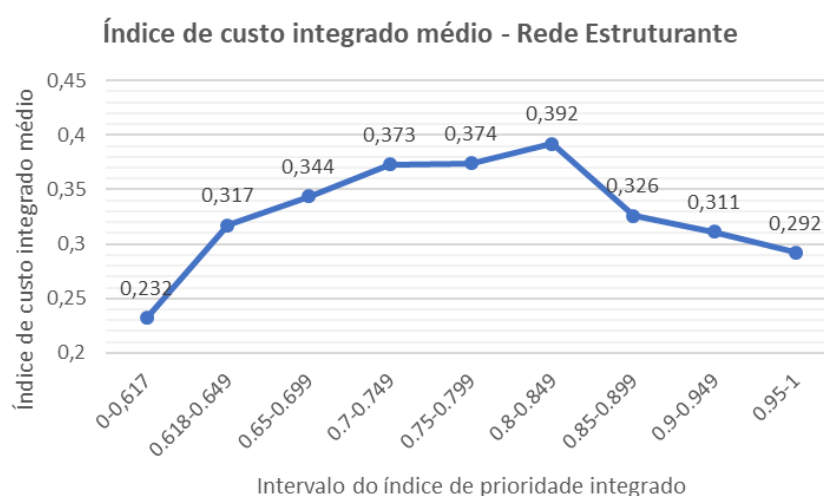
**Figura 24** - Índice de prioridade integrado para a Rede Primária Estruturante.

Para a rede estruturante, o quadro 6 permite verificar que apenas restaram 24 segmentos com valor do índice de prioridade inferior a 0,618 (segmentos não-prioritários). De novo se verifica a baixa existência de índices de prioridade mais elevados, associados a valores extremos, seja ao nível do fogo; combustível ou densidade populacional. Estes valores, maiores que 0.9, compreendem menos de 5% do comprimento e área totais.

Excetuando alguns troços desconexos na região de Lisboa, a Rede estruturante contínua começa na Serra de Aire e Candeeiros e na região de Tomar; estendendo-se daí até ao Alto Minho. Ocorrem alguns segmentos isolados na região do Douro e Trás-os-Montes, bem como na região da Gândara (entre Coimbra e Aveiro). Para o interior estes estendem-se até Oliveira do Hospital, Pedrógão Grande ou Tondela no Centro; e até às terras de Basto e às faldas das serras do Gerês, Marão, Freita

e Montemuro no Norte. Ou seja, não entram em zonas de marcada interioridade climática, tendo alguma influência atlântica e encontrando-se a baixas altitudes, e de densidades populacionais baixas.

A figura 25, com o índice de custo integrado médio obtido para cada intervalo dos valores de prioridade, mostra que em geral estão associados menores índices de custo para menores índices de prioridade, especialmente para aqueles inferiores a 0.618. Os maiores valores são obtidos para classes intermédias, especialmente para aquelas com índices de prioridade entre 0.7 e 0.849. Valores mais baixos ocorrem de novo para aqueles segmentos com maior prioridade, embora estes tenham um menor peso relativamente à área que ocupam.



**Figura 25** - Rede estruturante: Valor médio do índice de custo integrado para as diferentes classes de intervalo do índice de prioridade integrado

#### 4.2. População e edifícios na área de influência

Os dados estatísticos apresentados no quadro 7, com especial destaque para a população residente, são referentes ao último censo efetuado em Portugal, em 2011 (INE,2011):

**Quadro 7** - Indicadores estatísticos (2011) para as duas redes primárias estruturantes

Indicadores	Rede Primária Estruturante	
	Fase de redimensionamento da rede ICNF (fase 1)	Com a criação de metodologia (fase 2)
Área de influência (km <sup>2</sup> )	19246	20349
População residente	1333646	4182581
População residente ≥ 65 anos (%)	22,3	17,2
Densidade populacional (habitantes/km <sup>2</sup> )	69,3	205,5
Número de edifícios	681256	1463744
Edifícios com utilização exclusivamente residencial	637515	1368081
Edifícios com utilização principalmente residencial	39917	86122
Edifícios com utilização principalmente não-residencial	3824	9541
Densidade de edifícios (edifícios/km <sup>2</sup> )	35,4	71,9

As duas áreas de influência têm valores próximos entre si; mas populações residentes muito díspares, tendo a rede primária criada neste trabalho um número de habitantes mais de 3 vezes superior ao do valor referente à rede da fase de redimensionamento, com cerca de 4,2 milhões de pessoas (cerca de 40 % da população nacional) e portanto, uma densidade populacional também bastante superior, passando os 200 habitantes/km<sup>2</sup>. A rede da fase 1 tem uma população mais envelhecida, decorrente dos territórios mais interiores onde se encontra, mais desfavorecidos economicamente e onde a população é mais frágil e distribuída por pequenas aldeias; enquanto a rede da fase 2 está localizada em locais mais povoados, com a maioria dos segmentos localizados no eixo atlântico litoral.

A discrepância no número de edifícios entre as duas redes existe, mas é de um grau de menor amplitude, com o dobro dos edifícios na rede da fase 2, o que origina uma densidade de edifícios de 72 edifícios por km<sup>2</sup>. De destacar também que 93% dos edifícios têm uma utilização exclusivamente residencial.

#### 4.3. Ocupação do solo - COS2015

##### 4.3.1. Por megaclasses

As megaclasses permitem agrupar diversas classes semelhantes no seu uso e origem, permitindo uma perceção simples dos elementos mais importantes da paisagem. Para o total da área de Portugal Continental contida nos 125 metros de largura em redor das linhas da rede primária estruturante da 2ª fase, o quadro 8 mostra a área em hectares, bem como a percentagem da área de estudo para cada uma das 6 megaclasses de ocupação do solo (Caetano *et al.*, 2018); excluindo áreas urbanas, zonas húmidas e corpos de água. O anexo 2 refere quais as classes de ocupação do solo que constituem cada megaclasses. A maioria dos cerca de 49000 hectares é ocupada por Florestas, que ocupam 63,6 % da área total, enquanto os matos ocupam 17,8 % e estão em geral associados a zonas de grande presença do fogo, como nos planaltos e topos das serras, evitando grande desenvolvimento da vegetação. Considerando grosso-modo estas megaclasses como a “área combustível”, esta ocupa no total 40000 hectares e 81,4 % da área de potencial rede primária. Uma percentagem bastante importante vem também de áreas agrícolas (16,9%), sendo estas de pequena dimensão, muitas vezes associadas a hortas ou pequenos terrenos próximos das casas e que circundam as povoações. As restantes megaclasses apresentam valores quase irrisórios, iguais ou inferiores a 1% cada, estando presentes especialmente no sul do país, onde não foram selecionados segmentos de rede, o que explica a sua baixa contribuição para a área total.

**Quadro 8** - Área e importância relativa da ocupação do solo da Rede Primária Estruturante da fase 2.

Megaclasses	Área (ha)	Percentagem da área de estudo (%)
Florestas	31263	63,6
Matos	8762	17,8
Agricultura	8292	16,9
Pastagens	445	0,9
Espaços descobertos ou com vegetação esparsa	407	0,8
Sistemas agroflorestais	0	0,0
<b>Total</b>	<b>49169</b>	<b>100</b>

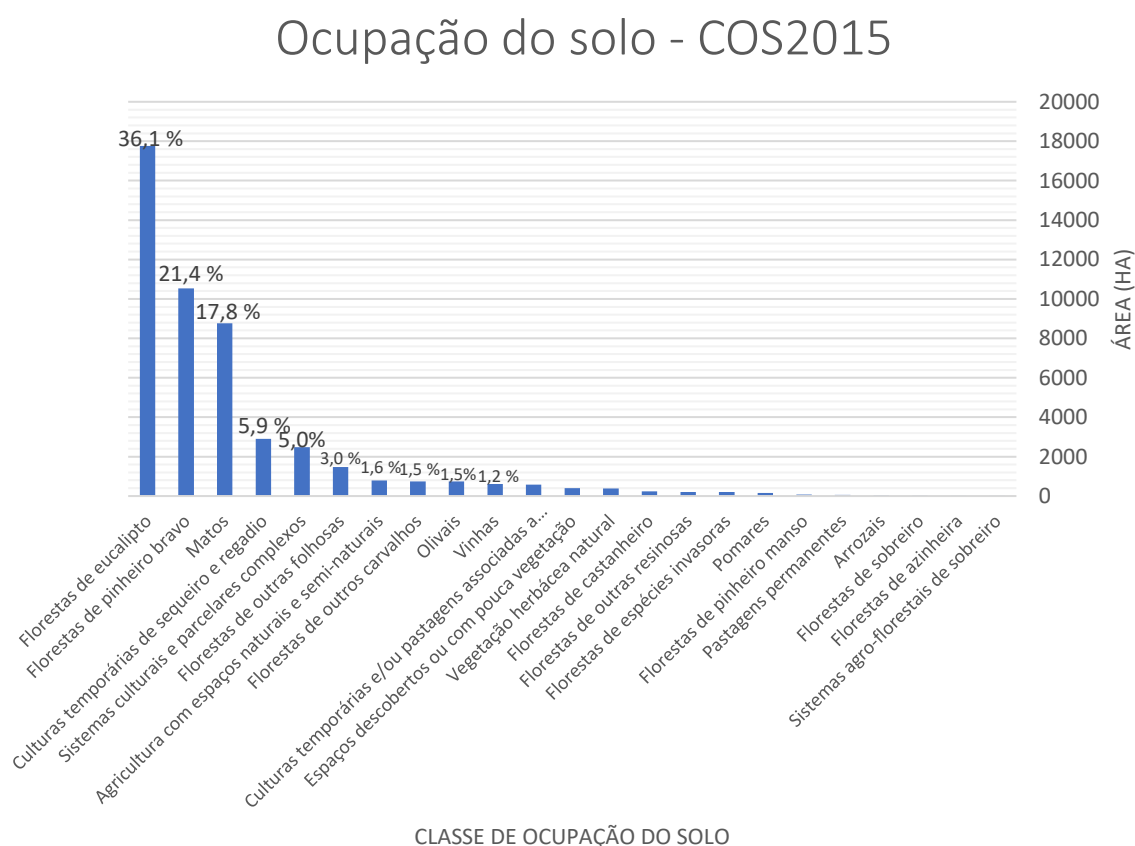
*\*Nota: As megaclasses “Territórios artificializados”; “Corpos de água” e “Zonas húmidas”, que compreendiam em conjunto 10676 hectares e 17,8% da rede estruturante, foram excluídos da análise, pelo que os valores da área total de rede estruturante são diferentes daqueles apresentados anteriormente.*

#### 4.3.2. Por classes

São 23 as classes de ocupação do solo 2015 incluídas na rede primária, cerca de metade do total de classes existentes. De referir que, tal como na análise por megaclasses, as classes relativas a zonas húmidas; corpos de água e áreas urbanas/artificializadas não foram incluídas. A figura 26 permite observar todas as classes, com especial destaque para as 10 mais representativas. É visível uma grande importância de alguns tipos de coberto, ocupando as 3 classes com maior área 75,3 % da área total de rede primária, e as 10 classes mais representativas 95 % da área.

Porém, as classes variam bastante entre si. A classe mais representada é a de florestas de eucalipto com 36,1% da área de rede primária; seguida das florestas de pinheiro-bravo com 21,4 %. Dentro das 10 classes mais representativas, pertencente às florestas surgem ainda as florestas de outras folhosas e as florestas de outros carvalhos, com pesos de 3,0% e 1,5 % respetivamente. Também os matos têm uma grande representação, ocupando 17,8 % da área total. Além destas, aparecem ainda 5 classes pertencentes à megaclasses “Agricultura”.

Os valores da área em hectares para todas as classes podem ser consultados no anexo 9.

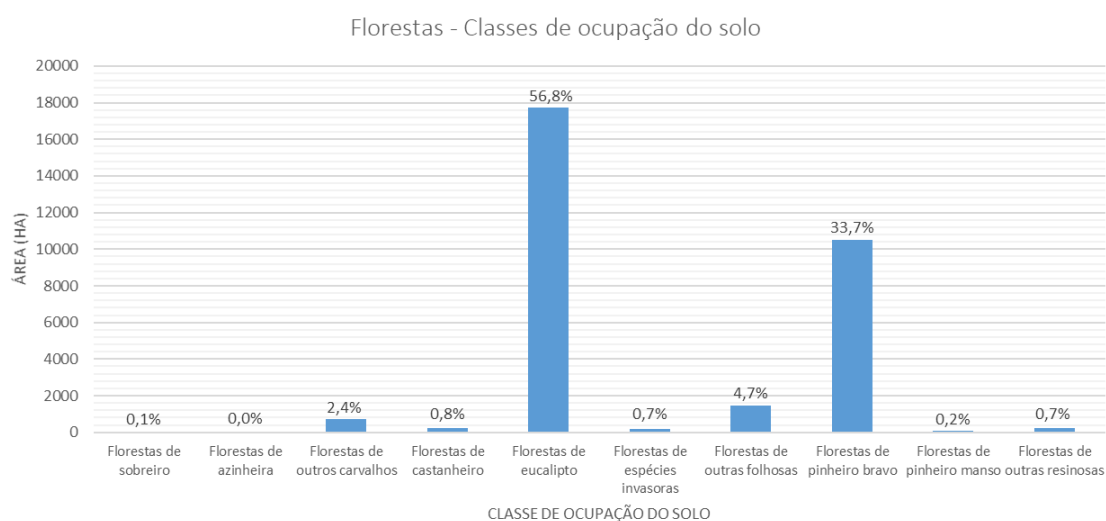


**Figura 26** - Área (hectares) e percentagem da área total para todas as classes na área de 125 metros da rede primária estruturante.

### 4.3.3. Por classes de floresta

De todas as classes anteriores, serão agora analisadas apenas as classes de floresta. Como visto anteriormente, as florestas ocupam mais de metade da área da rede primária, assumindo que esta tem sempre 125 metros de largura. Logo estas áreas têm uma importância redobrada para a gestão de combustíveis a fazer caso esta rede seja aplicada na paisagem. A figura 27 apresenta as áreas em hectares ocupadas por cada espécie/conjunto de espécies florestais. É visível que mais de metade da área de florestas é ocupada por florestas de eucalipto, com 56,8% da área total florestada. Seguem-se a alguma distância as florestas de pinheiro-bravo, com 33,7% da área. Estas duas classes representam mais de 90% da área de florestas nos 125 metros de *buffer* à volta da rede primária. O eucalipto encontra-se sobretudo no Minho; Douro Litoral e na Região de Aveiro. Já o pinheiro-bravo está mais presente na área mais a sul da rede primária, especialmente na Região de Coimbra e de Leiria. Porém, em muitas áreas estas duas espécies encontram-se associadas no mesmo povoamento florestal, ou em áreas contíguas entre si, formando intrincados mosaicos na paisagem.

Todas as outras 8 classes têm valores muito inferiores, nenhuma delas ultrapassando 5% da área de floresta. Apenas as Florestas de outras folhosas e Florestas de outros carvalhos têm uma ocupação relativa superior a 1% do total das áreas florestadas pertencentes à rede primária.



**Figura 27** - Classes de floresta de COS2015, classificadas por pesos relativos sobre o total da área florestal.

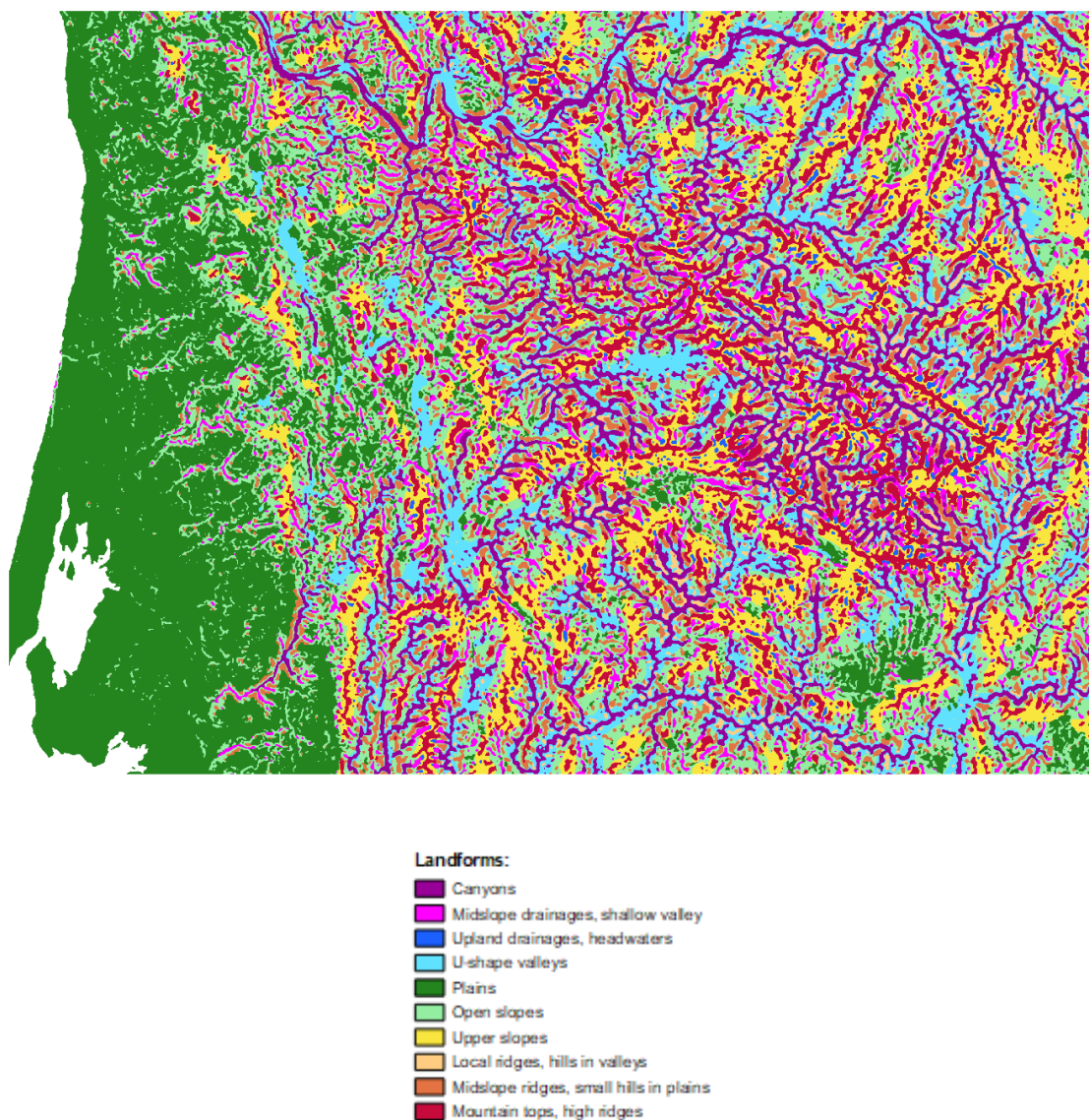
### 4.4. Formas do terreno (Landforms)

As formas do terreno, obtidas pelo método das Landforms (Weiss,2001), permitem classificar o território de acordo com a sua topografia, usando como base para o seu cálculo modelos de elevação do terreno.



Este algoritmo possui 10 categorias distintas, com uma descrição para cada uma delas. A categoria mais representada é a de zonas planas, com 34,1 % da área total, seguida pelos topos de montanhas que ocupam 24,9% do território de análise. A figura 28 representa as 10 classes de formas do terreno para uma área de interesse do ponto de vista da rede primária estruturante, o norte do distrito de Aveiro, que inclui a serra da Freita e os vales do Douro e Vouga.

O anexo 1 descreve as categorias, agregadas em 4 classes, em unidades de área e peso relativo.



**Figura 28** - Formas do terreno para o norte do distrito de Aveiro

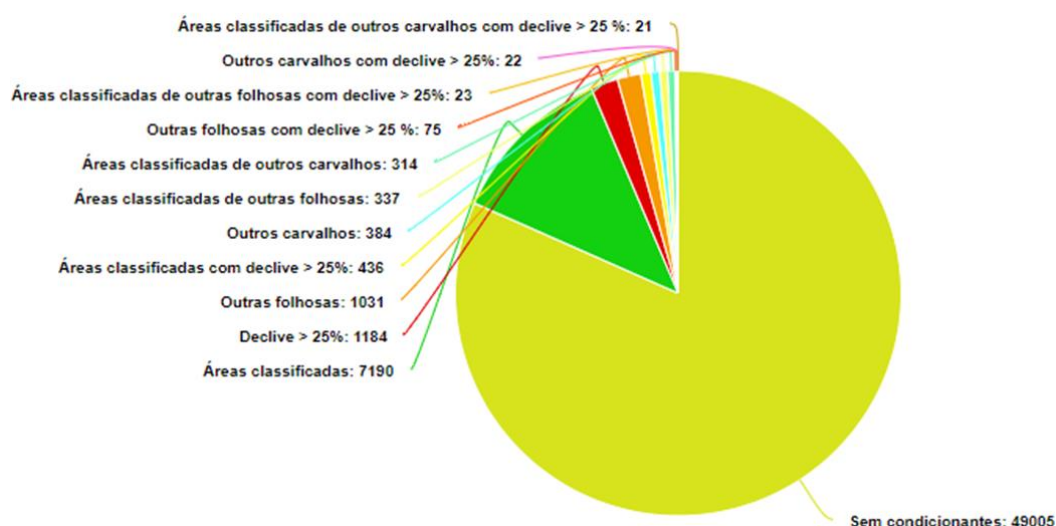
#### 4.5. Rede sobre zonas condicionantes à instalação da rede primária de FGC

Tendo em conta as 4 variáveis escolhidas para análise, consideradas como condicionantes à instalação desta rede, foram obtidos os resultados descritos na figura 29. De notar que a área de 125 metros em redor dos segmentos não encontra nenhuma destas 4 condicionantes em cerca de 82 %



da área, ou seja, em 49005 hectares. Portanto, a larga maioria da área de rede não necessitará de ver o seu desenho no terreno ser possivelmente mudado ou ter maiores custos de instalação.

Seguem-se as áreas classificadas, com 7190 hectares ou 12% da área total de análise. Todas as restantes variáveis ou combinações de variáveis ocupam 2% ou menos do território, com destaque porém para as áreas com declive maior que 25% e de florestas de outras folhosas, ambas com mais de 1000 hectares. As combinações de variáveis, como por exemplo “áreas classificadas de outras folhosas com declive > 25 %” têm uma presença mais exclusiva, ocupando sempre menos de 1% da área. De notar que nenhuma destas áreas é contada mais que uma vez (exemplo: as “áreas classificadas com declive > 25%” não incluem áreas da classe “áreas classificadas” ou “declive > 25%” mas sim apenas a sua interseção).



**Figura 29** - Tipos de condicionantes na Rede Primária Estruturante (os valores numéricos estão em unidades de área, correspondentes a hectares)

#### 4.6. Declive

Foram definidas 4 classes de declive, sendo a classe superior aquela com declives iguais ou superiores a 25 %. Considera-se este o valor limite, acima do qual a passagem/trabalho de máquinas e veículos florestais não é praticável. 93,9 % da área de rede primária estruturante (assumindo 125 metros de largura) possui um declive inferior a 25%, especialmente concentrado em classes de declive inferior a 15% (78,5%). Assume-se que em caso de declives de maior valor serem impeditivos de operações de limpeza e combate fáceis aos incêndios, se deva fazer o redesenho da rede nestes pontos, contornando o obstáculo que o território aí impõe. Tal como os dados da altitude, também estes têm como origem o MDT de Portugal, com 25 m de resolução espacial.

**Quadro 9** - Distribuição da área ocupada (hectares) por classes de declive e seu peso relativo, associada aos 125 m em redor dos segmentos.

Classes de declive (%)	Área - 125 m de Rede Primária (ha)	Peso relativo (%)
< 5	20274	33,8
5 a 15	26786	44,7
15 a 25	9180	15,3
> 25	3664	6,1
<b>Total</b>	59904	100,0

#### 4.7. Rede de estradas

Para a análise da rede de estradas do *Open Street Maps*, foram escolhidos quais os tipos de estradas mais adequados para as funções da rede primária, usando a variável designada como densidade de estrada, em km/ha. O comprimento total de estrada é de 4110 km, o que difere do valor apresentado no quadro 10, pois este inclui sobreposições entre áreas de segmentos. Cerca de metade do número e comprimento total dos segmentos se situa na classe de 0,05 a 0,10 km/ha de densidade, seguida pela classe 0,10 – 0,15 km/ha. Apenas 92 km de segmentos têm densidade superiores a 0,20, próximos de algumas áreas urbanas. De notar que ocorrem 10 segmentos que não cruzam qualquer rede viária, mas que correspondem a segmentos com pequenos comprimentos, muitas vezes de ligação.

Esta variável é um indicador geral da acessibilidade aos segmentos, mas tem algumas limitações, como o facto do valor da densidade de estradas não significar necessariamente que estas estejam espalhadas pela área do segmento, podendo em vez disso concentrar-se apenas em parte desta.

**Quadro 30** – Densidade de rede de estradas (km/ha)

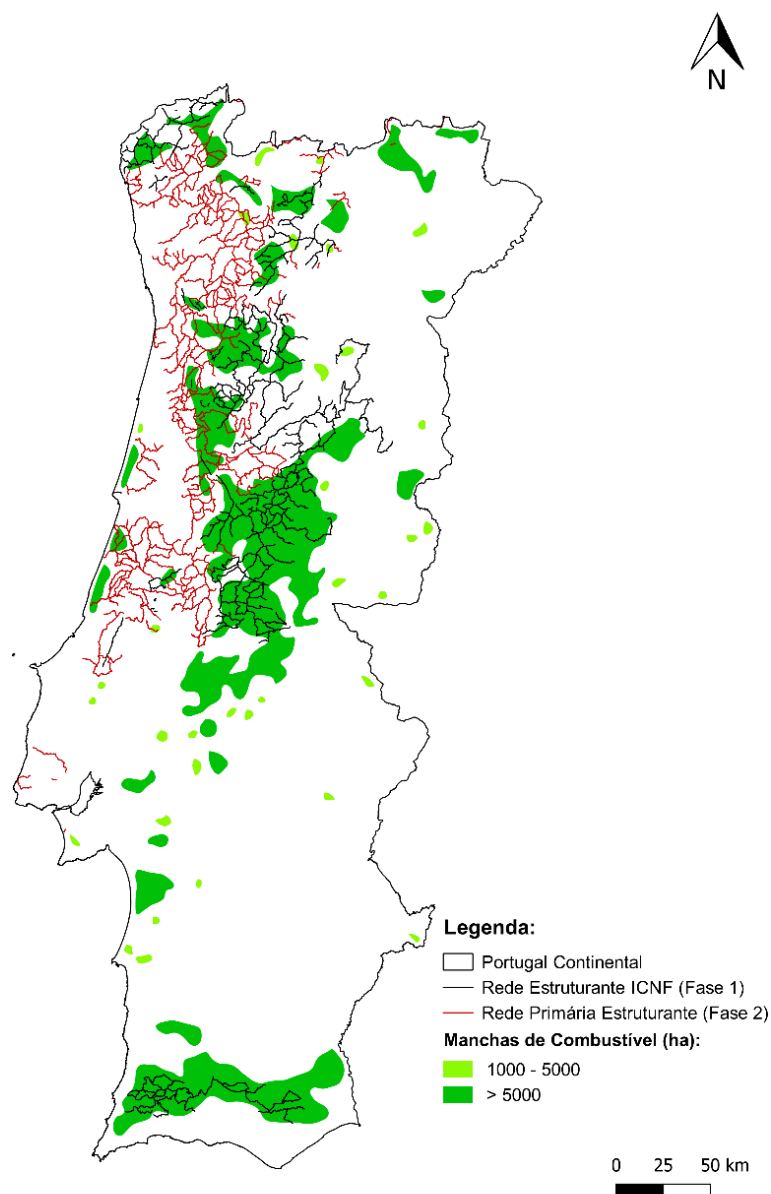
Densidade de estrada (km/ha)	Comprimento de estrada total(km)	Área do buffer (ha)	Nº de segmentos
< 0,05	512	15604	190
0,05 - 0,10	2331	32101	380
0,10 - 0,15	1330	11359	144
0,15 - 0,20	296	1762	28
> 0,20	92	375	13
<b>Total</b>	4560	61200	755

#### 4.8. Manchas de combustível

A definição das grandes manchas de combustível (florestas e matos), cujo método de construção foi referido na secção de Métodos, é de uma grande importância para identificar em que áreas do território é mais premente a necessidade de construção de barreiras à propagação de grandes incêndios, nomeadamente pela construção de faixas de rede primária.

A figura 30 sobrepõe as manchas de combustível com a rede primária estruturante da fase 2 e a rede estruturante do ICNF (fase 1). A maioria das manchas não é intersectada pela RP Estruturante, cuja maioria se localiza em zonas de densidade populacional relativamente elevada que não permitem que ocorram grandes áreas de continuidade de combustíveis; mas sim pela rede do ICNF, que cruza extensivamente e em várias direções as grandes manchas de combustível do Algarve serrano; do Pinhal Interior; das serras de Montemuro, Marão e Arga; entre outras manchas de menor dimensão.

Ao cobrir as áreas de grande continuidade combustível, a rede do ICNF assume aqui uma maior preponderância. Porém, a rede da fase 2 cruza-se com algumas áreas importantes, como a grande área de combustível que se estende desde Castelo de Paiva, e por toda a serra da Freita até aos planaltos de Vila Nova de Paiva, onde existem segmentos nos municípios de Castelo de Paiva e Arouca; e na grande mancha de combustível paralela ao oceano Atlântico, bastante sujeita aos ventos que soprem na direção Norte/Sul, que se estende desde o sul do concelho de Oliveira de Azeméis até Vila Nova de Poiares e ao leste do município de Coimbra. Inclui a serra do Buçaco e a serra do Caramulo, de grande interesse natural e paisagístico, bem como grandes manchas contínuas de eucaliptal. Outras manchas de menor importância incluem o leste do Alto Minho e o pinhal litoral dos concelhos de Pombal e Leiria.

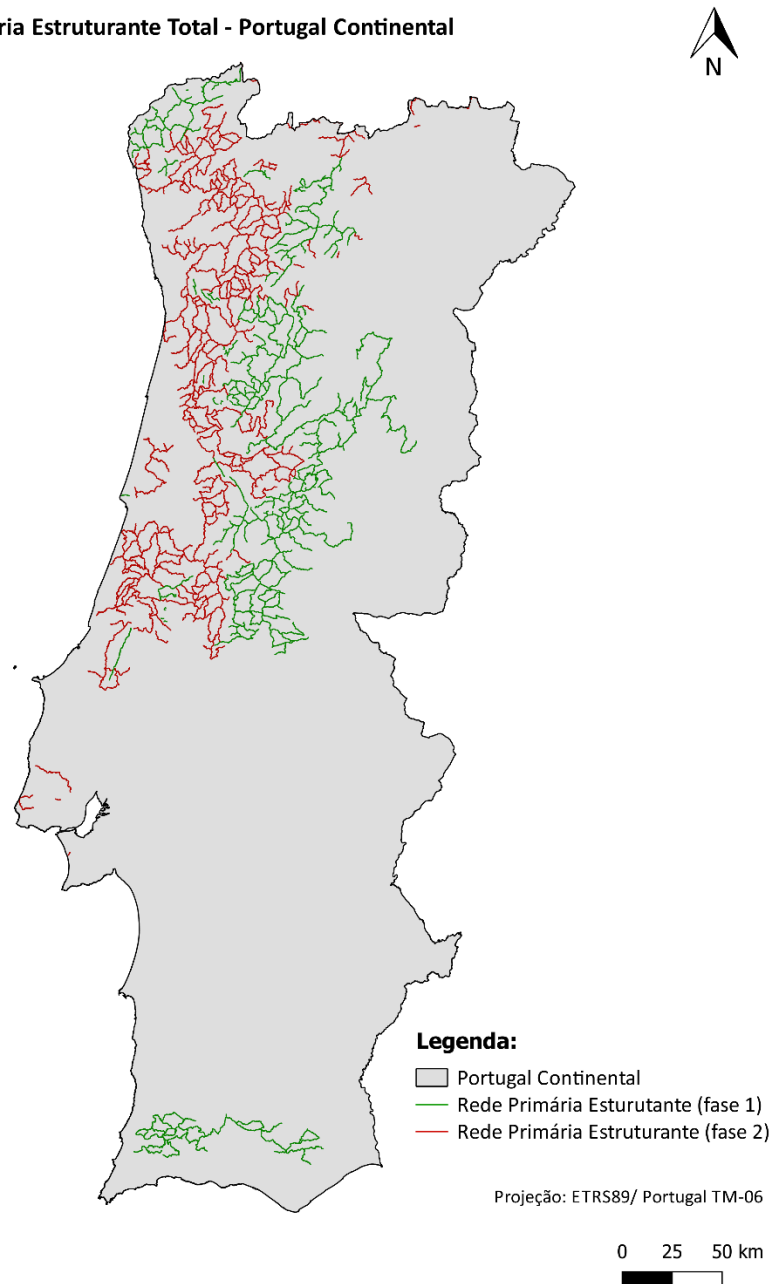


**Figura 30** - Manchas de combustível, cruzadas com a rede primária estruturante.

#### 4.9. Junção das 2 redes primárias estruturantes

A junção da rede primária estruturante com a rede estruturante proveniente da rede primária do ICNF (figura 31) tem um comprimento de 9123 quilómetros, e uma área possível (com uma largura de 125 metros) de 105900 hectares, aumentando o comprimento da rede em mais de 3500 km/63% em relação à rede primária estruturante. O número total de segmentos eleva-se assim a 1286, como o quadro 11 indica.

### Rede Primária Estruturante Total - Portugal Continental



**Figura 31** - Rede primária estruturante total para Portugal Continental.

A classe de índice de prioridade mais representativa é de novo a situada entre 0.65 e 0.699, com 249 segmentos e 1817 quilómetros de comprimento, a que estão associados cerca de 21000 hectares. Uma diferença que a adição dos segmentos estruturantes da rede do ICNF traz é a maior importância da classe de prioridades abaixo de 0.617, ou seja, do limiar de prioridade.

**Quadro 11** - 2 redes primárias estruturantes: Nº; comprimento e área total dos segmentos agrupados em classes definidas pelos índices de prioridade integrado de cada segmento.

Índice de prioridade integrado	Nº segmentos	Comprimento (km)	Área total dos segmentos (ha, para 125 m circundantes)
0-0,617	133	838	10424
0.618-0.649	170	1267	14563
0.65-0.699	249	1817	20978
0.7-0.749	229	1646	19031
0.75-0.799	200	1369	15964
0.8-0.849	150	1202	13703
0.85-0.899	97	668	7652
0.9-0.949	45	256	2933
0.95-1	13	59	652
<b>Total</b>	<b>1286</b>	<b>9123</b>	<b>105900</b>

#### 4.10. Custos totais

Com base nos dados da variável 11, referentes aos custos de execução e manutenção, somando os valores referentes a todos os segmentos da rede primária estruturante, os custos de execução e manutenção são estimados em 37 milhões de euros, para o total da RP Estruturante com 125 metros de largura por segmento. De referir que os custos foram calculados para um período de 10 anos. Para a rede estruturante do ICNF os custos de execução e manutenção foram estimados em 30 milhões de euros.

Como os custos de indemnização são segundo a Ordem dos Engenheiros cerca de 2,5 vezes superiores à execução e manutenção da rede, os custos de indemnização totalizam em valores estimados 93 milhões de euros para a construção do total da RP Estruturante quando esta possui 125 metros de largura. Para a rede estruturante do ICNF os custos de indemnização são aproximadamente 76 milhões de euros.

O custo total, somando os dois valores anteriores, é de 130 milhões de euros para 10 anos de manutenção das faixas de gestão de combustíveis da rede primária estruturante. Este valor é resultado da metodologia para a construção de segmentos em regiões de maior prioridade, contribuindo para a melhor alocação e racionamento dos orçamentos para a rede primária. Para a rede estruturante do ICNF os custos totais são de 106 milhões de euros.

O custo total para as duas redes estruturantes será então avaliado em 236 milhões de euros.

## 5. Discussão

### 5.1. Análise da rede obtida

#### 5.1.1. Distribuição pela área de estudo

##### 5.1.1.1. Prioridades temáticas e índice de prioridade integrado

O tema do fogo inclui variáveis associadas à ocorrência passada de grandes incêndios e à sua frequência em áreas adjacentes à rede primária, pelo que maiores valores destas aumentam os valores do índice. O tema associado ao Combustível permite conhecer localizações prioritárias para efetuar tratamentos de redução de combustíveis ou a criação de parcelas de gestão de combustível; enquanto o tema respeitante ao Perigo para a população é uma reflexão das zonas de transição litoral-interior, combinando uma elevada densidade populacional e urbana com grande presença de matos e florestas. O tema do valor económico está associado ao cálculo do dano potencial observado em caso de incêndio e destruição do coberto vegetal; enquanto o tema do valor ecológico apresenta quais os locais mais sensíveis a grandes incêndios do ponto de vista do património natural.

O índice de prioridade integrado é criado através da ponderação dada a cada tema e o seu padrão de valores pela rede subtraída. O quadro 5 permite ver que os segmentos desta rede com maior prioridade (maior que 0.7) são menos comuns, embora sejam estes a definir a maioria da rede estruturante, tendo em geral uma elevada percentagem de coberto combustível e uma densidade populacional média a elevada no panorama nacional, o que torna estas áreas as mais críticas para atuar.

##### 5.1.1.2. Rede Primária Estruturante

A rede estruturante resultante tem apenas 17% da extensão da rede subtraída. Distribui-se de forma pouco homogénea pela área de estudo, concentrando-se na região litoral do Norte e Centro de Portugal. De notar a inexistência de segmentos na região a sul do Tejo. Tal distribuição deve-se à existência da rede do projeto de redimensionamento do ICNF, que ocupa várias áreas críticas, como o Pinhal Interior e o Algarve.

A rede estruturante exclui zonas do território onde não é justificada, como áreas de grande densidade populacional em redor de grandes áreas urbanas e com pouca área combustível; e também áreas de baixa densidade populacional com uma ocupação do território desfavorável à propagação de grandes incêndios, por exemplo áreas agrícolas e sistemas agroflorestais. As ponderações dadas a cada tema/variável explicam esta distribuição: Os temas do fogo e do perigo para a população destacam-se pela sua maior contribuição para o índice de prioridade.

A rede estruturante reduz em grande medida a mão-de-obra, os recursos e os custos associados; ao mesmo tempo que garante uma maior eficiência, ao atuar sobre as áreas do território mais prioritárias. A figura 25, do índice de custo integrado médio, permite observar que um aumento do índice de prioridade integrado é acompanhado por um aumento do índice de custo, exceto para valores de prioridade superiores a 0.85. Uma explicação possível para tal é o facto de estes troços estarem associados a áreas de grande incidência do fogo e a uma ocupação do solo de matos ou de floresta esparsa misturada com mato. Ora os matos têm valores de custo bastante mais baixos do que os relativos às florestas. Assim, estes troços com maior índice, apesar de mais prioritários que os restantes, têm um menor custo integrado médio; o que não significa que acabem por ser menos prioritários que outros troços com menor prioridade pelo facto de serem áreas dominadas por matos, já que o cálculo do índice de prioridade teve em conta o baixo valor económico atribuído aos matos, que é compensado pelo grande historial de fogo e população em perigo.

#### 5.1.1.3. Complementaridade com rede estruturante do ICNF

A rede primária estruturante realçou alguns segmentos que a rede estruturante do ICNF não incluiu e que são de grande importância, por exemplo no interior do distrito de Aveiro e no Alto Minho. A rede aqui criada permitiu construir uma rede que serve essencialmente o litoral do país, enquanto a rede do ICNF serve áreas mais serranas e interiores, especialmente associadas a grandes manchas contínuas de combustível. A sua complementaridade com a rede do ICNF permitirá uma grande conectividade entre estas regiões, contribuindo não só para uma compartimentação mais eficaz da paisagem, mas também uma maior facilidade e rapidez de operações de combate a incêndios, com a fluidez que a rede primária poderá impor.

De notar que a rede estruturante do ICNF se sobrepõe às maiores manchas de combustível, como as do Pinhal Interior e do Algarve, embora não tenha sido um critério para a definição da rede. Contudo, este trabalho sugeriu novos segmentos para outras manchas de grande dimensão parcialmente cobertas pela rede ICNF, incluindo as manchas relativas à Freita/Montemuro e Buçaco/Caramulo.

Apesar de não terem sido incluídas na definição do índice de prioridade, as redes das fases 1 e 2 cobrem a maior parte das grandes manchas de combustível, o que confirma a solidez das variáveis escolhidas para análise. A localização das manchas de combustível contribui para saber onde compartimentar a paisagem e criar medidas para a redução da área contínua que um grande incêndio pode percorrer.

Com a análise das manchas de combustível, é possível tirar várias conclusões como o facto de existir uma baixa necessidade de usar uma variável adicional relativa às manchas, pois algumas variáveis



cobrem já a ocupação do solo por combustíveis, como as relativas aos temas do combustível e perigo para a população.

### 5.1.2. Proteção das populações

A comparação da área de influência da rede estruturante do ICNF com a rede primária estruturante da fase 2 permite verificar algumas diferenças expressivas (quadro 7), como a população residente: A rede da fase 2 abrange cerca de 40 % da população nacional, pois está localizada em regiões mais povoadas do litoral; enquanto a rede do ICNF apenas abrange cerca de 1,3 milhões de pessoas, tendo um terço da densidade populacional da rede da fase 2 e com uma população mais envelhecida. Logo, a rede do ICNF inclui territórios mais desfavorecidos economicamente e onde a população é mais frágil e distribuída por pequenas aldeias, reforçando a importância da necessidade da sua proteção. As duas redes, quando associadas, estão bem localizadas no terreno, dando uma possível barreira de proteção a mais de metade da população portuguesa.

### 5.1.3. Custos

Os custos totais referentes à indemnização, execução e manutenção (10 anos), totalizam cerca de 130 milhões de euros para a rede primária da fase 2, e 106 milhões para a fase 1. Não contando com os custos incalculáveis relativamente a perdas humanas por ação direta dos incêndios, pode ser posto em perspetiva este custo total de 236 milhões de euros com outros valores. Por exemplo, os custos de recuperação e prejuízos associados aos incêndios entre janeiro e setembro de 2017 foram estimados em 523 milhões de euros, ao que se juntam 92,5 milhões de euros de valor médio anual de custos de prevenção e combate no período 2000-2016 (Comissão Técnica Independente, 2017). Os valores variam bastante anualmente, tendo atingido em 2003 1303 milhões de euros. Podemos ainda referenciar os custos de 275 milhões de euros para as empresas dos incêndios de outubro de 2017. (Comissão Técnica Independente, 2018).

Com valores retirados de Comissão Técnica Independente (2017), para o período 2013-2016 o valor médio anual do custo de supressão foi de 78 milhões de euros, o que para o período de 10 anos perfaz 780 milhões de euros. Este valor é 3,3 vezes superior ao dos custos da rede, ou invertendo os números, este é 0,30 vezes o do custo de supressão. Ou seja, há um benefício económico se a rede primária reduzir os danos dos fogos em mais de 30%.

Os custos de recuperação e de perdas de bens e serviços somados, tiveram para o período 2013-2016 um valor médio anual de 176 milhões de euros, ou seja, quase 2 mil milhões de euros para 10 anos. Somando os 3 tipos de custos (custos de supressão; de recuperação; e de perdas de bens e serviços), temos um custo de incêndios florestais, para 10 anos, de 2,5 mil milhões de euros, ou seja,

11 vezes o custo de instalação e manutenção da rede primária para o mesmo período. Ou seja, estima-se que a rede primária seja economicamente viável no caso de reduzir os danos dos fogos em mais de 9% (valor aproximado, ver secção 5.2). Tais valores reforçam a importância de criação da rede primária como uma arma de mitigação dos elevados custos monetários e sociais dos incêndios em Portugal.

## 5.2. Limitações

### 5.2.1. Dados

São várias as variáveis que usam bases de dados que têm algumas limitações, das quais aqui se destacam duas importantes.

Os valores usados para os danos potenciais/custos são apenas valores tabelados a partir de organismos do Estado e não retratam fielmente variações dependendo das flutuações do valor dos produtos no mercado; das características do terreno; do coberto vegetal aí existente; do prestador do serviço ou do esforço aplicado à construção de certo segmento, bem como do nível de regularidade de manutenção destes no futuro.

A classificação da ocupação do solo é essencial para a construção das variáveis 7 e 8 e para os temas do combustível e perigo para a população, e poderá ter sofrido alterações importantes desde 2015, incluindo grandes incêndios ocorridos desde então e outras mudanças de ocupação do solo (por exemplo, novas áreas urbanas). Uma distribuição geográfica diferente originaria valores destas variáveis bastante díspares dos aqui obtidos e implicaria que o índice de prioridade integrado poderia ter valores ligeiramente diferentes relativamente aos apresentados. De referir que os dados da COS são também importantes para a definição dos custos de indemnização e dos custos de execução e manutenção, já que estes incluem certos valores de custos dependentes da presença de diferentes cobertos vegetais.

### 5.2.2. Metodologia

Foram utilizados na definição da rede primária estruturante processos automatizados que permitem trabalhar à escala nacional. Porém, esta escala alargada implica a simplificação da geografia da rede à escala local e não tem em conta especificidades locais como a presença de áreas de elevado declive e com elevado valor ecológico (ver secção 5.2.4.). Estes segmentos têm que ser adaptados à realidade do terreno, a avaliar numa escala local (ver secção 5.3.).

### 5.2.3. Importância excessiva em zonas de fogo controlado

Alguns segmentos com um maior índice de prioridade encontram-se em zonas onde o número de ignições de incêndios é bastante elevada, mas a área ardida daí resultante é bastante baixa pois são queimadas controladas associadas ao renovo de pastagens para obter lenha e para a atividade pecuária. Estas queimadas são comuns nos planaltos das principais serras, onde os residentes são pouco numerosos, e raramente são uma ameaça às populações e habitações por serem controladas. Os segmentos de rede primária nestas zonas poderão não ser justificados, o que terá de ser avaliado pelas entidades competentes na fase de revisão da rede (ver secção 5.3.).

### 5.2.4. Zonas condicionantes

As condicionantes incluem ocupações do solo de grande valor ecológico (Outras folhosas e outros carvalhos), bem como declives superiores a 25 % e áreas classificadas.

Existem limitações quanto à instalação da rede nestes locais de alto valor ecológico, pois esta pode estar incluída em Parques Naturais ou Sítios da Rede Natura 2000; bem como outras áreas já definidas (ver secção 4.5.). Tal significa que a largura dos segmentos de rede possa aqui ser reduzida ou mesmo serem eliminados alguns segmentos, caso a sua densidade no terreno seja elevada nestas zonas. Já declives proibitivos, com valores acima de 25%, podem significar uma maior dificuldade na construção da rede, pelo menos nos aspetos respeitantes ao uso de máquinas pesadas, bem como no acesso de veículos em caso de operações de combate a incêndios rurais. Uma boa opção será evitar estas áreas de grande declive ou valor ecológico, mudando o local de instalação da rede primária.

A definição das condicionantes é importante pois a rede primária deve garantir uma rede viária que permita a circulação dos meios de combate a incêndios. Logo, devem ser definidos os locais onde estas condicionantes sejam um obstáculo à circulação. Esta limitação terá certa dificuldade de aplicação a possíveis alterações da metodologia à escala nacional, sendo mais fácil de aplicar ao nível de ajustes de troços a uma escala mais local/regional (ver secção 5.3.).

### 5.2.5. Rede de estradas

Com os dados obtidos não foi possível usar um indicador de presença/ausência de estradas no segmento, pelo que foi criada uma variável relativa ao comprimento de estradas numa área fixa em volta de cada segmento.

Com base nos dados do *Open Street Maps*, que foram considerados neste trabalho como os mais completos disponíveis, foram definidos 4560 km de estradas para os 5584 km de rede primária

estruturante. Um maior comprimento de estradas nos 125 metros de largura á volta do segmento destinado para a rede primária significa uma maior segurança e garantia de mais opções para rotas de fuga nas operações de combate. São apenas 10 os segmentos que não incluem estradas; pelo que a opção de mudar a localização destes de maneira a que possam incluir estrada, ou mesmo a possível construção de acessos condignos, seja pouco necessária. Tal como as zonas condicionantes, será a uma escala mais local que a rede poderá ser mudada, não mexendo no processo metodológico de criação do índice de prioridade.

#### 5.2.6. Outros rendimentos

Alguns rendimentos associados à floresta e com importância não só para as variáveis de custo, bem como para a referente ao dano potencial não são tidos em conta, como rendimentos respeitantes à apicultura; caça ou o turismo. Não são usados pois a sua quantificação para áreas tão pequenas e definidas não está disponível. Estes rendimentos, como explicado com mais detalhe na secção 5.3.4., podem contribuir para um maior aproveitamento das áreas de rede a criar.

#### 5.2.7. Alterações futuras das variáveis de priorização

A incerteza futura sobre os eventos em que ocorram grandes incêndios podem aumentar ou diminuir a prioridade dos troços da rede em alguns locais. A ocorrência das alterações climáticas é um fator importante para avaliações futuras desta rede primária estruturante, de maneira a reavaliar as ponderações dadas ou criar novas variáveis de acordo com os fatores mais determinantes no futuro. A ocupação do solo, por exemplo, estará sujeita a alterações significativas provenientes de alterações negativas na precipitação; do aumento da temperatura média e do prolongamento de eventos de calor extremos para meses fora do verão meteorológico. Também alterações populacionais, como a progressiva concentração da população em áreas urbanas e litorais e o esvaziamento de extensas áreas do interior podem ter influência no regime de fogo e na ocupação do solo. Também os regimes de vento podem mudar, com mudanças nos padrões atmosféricos dominantes. Um exemplo é o furacão *Ophelia*, que passou ao largo da costa portuguesa em outubro de 2017 com fortes ventos de sul mas sem precipitação em terra, originando grandes incêndios dominados pela direção do vento. Estes eventos têm sido cada vez mais recorrentes, revelando o potencial para novas relações entre o clima e o fogo. Logo, a reavaliação periódica da rede – e a sua alteração quando justificada – será importante para o cumprimento dos seus objetivos.

### 5.3. Implementação da rede primária estruturante – próximas etapas

#### 5.3.1. Avaliação da rede primária por entidades relevantes

Após a criação da rede primária, com um processo metodológico relativamente complexo, esta necessita também de ser avaliada por outras entidades públicas como o Instituto de Conservação da Natureza e Florestas ou a AGIF, com a colaboração de Corporações de Bombeiros; CIM e a Proteção Civil. Também associações de proprietários florestais e as ZIF devem ser ouvidas no processo de escolher os troços sobre os quais se deve atuar em primeiro lugar e qual o grau de tratamento que deve ser efetuado na sua construção e manutenção. Os cobertos de solo dominantes, como as florestas de pinheiro-bravo e eucalipto têm um peso importante na economia de muitas regiões e famílias, pelo que um tratamento destas áreas terá que responder a mecanismos de apoio aos proprietários florestais bem como a ações de sensibilização para a importância da construção da rede primária. Estas entidades podem também, ao analisar a rede, optar pela alteração dos valores de ponderação de acordo com a sua experiência no terreno.

#### 5.3.2. Integração das redes estruturantes da fase 1 e da fase 2

Ao juntar a rede primária estruturante à rede já previamente otimizada do ICNF, o comprimento total da rede nacional passa de 5584 km para 9123 km. Apenas algumas extensões da rede do ICNF estão já concluídas, o que leva a concluir que será necessário construir vários milhares de quilómetros de rede nos próximos anos tendo em conta esta rede.

Como visto anteriormente, as prioridades mais altas da rede estruturante da fase 1 são determinadas por fatores como a vegetação existente e pelo historial do fogo e maior frequência de grandes incêndios, enquanto a rede da fase 2 dá maior importância ao fator populacional, aqui associado à exposição das povoações ao combustível à sua volta. Apesar de serem influenciadas por fatores diferentes, as duas redes devem unir-se, para garantir a compartimentação da paisagem e a eficiência da sua função de apoio ao combate nas zonas de junção. A ligação entre as duas redes deve ser feita de forma manual, já que o número de segmentos a ligar é pequeno e uma abordagem por algoritmos de rede por exemplo, seria mais complexa. Deve ser feita consultando entidades nacionais como o ICNF, e locais/regionais como os municípios, bombeiros, entre outros.

#### 5.3.3. Alterações no desenho dos segmentos

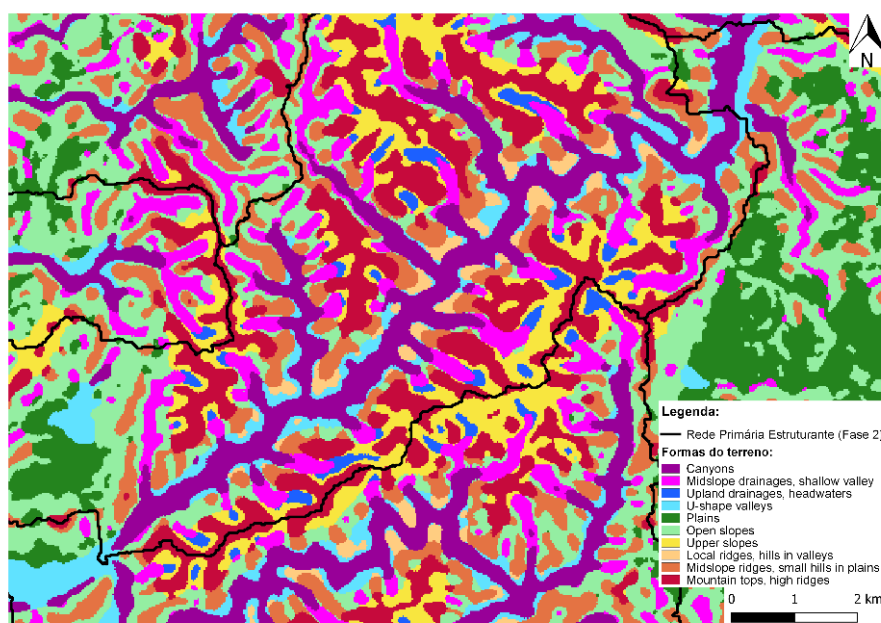
A rede poderá ser alterada em função da largura das cumeadas ser insuficiente para a aplicação do troço de rede; no caso de a rede viária de acesso ser insuficiente; ou no caso de encontrar condicionantes à sua instalação, como florestas de outros carvalhos e outras folhosas com alto valor de conservação. Este trabalho identifica apenas a localização geral dos troços importantes, que

deverão ser adaptados à realidade do terreno. O tratamento da vegetação também poderá variar ao longo da faixa graças a variações do ponto de vista topográfico e de ocupação do solo à escala local.

As formas do terreno são importantes para a definição dos locais onde poderá ser necessário mudar a largura da faixa caso tal seja imperativo, fomentando a flexibilidade do desenho final da rede estruturante.

Zonas muito declivosas devem ser evitadas no processo de construção da rede. Caso tal não seja possível, podem ser feitas abordagens diferentes ao tratamento de combustíveis, utilizando métodos como o fogo controlado e a pastagem de gado caprino e não recorrendo a operações mecanizadas de instalação da faixa, muitas vezes impossíveis de realizar.

Por base, esta é uma rede de zonas de cumeada, mas poderá ter interesse no futuro a aplicação de uma rede de vales, com objetivos semelhantes aos que a rede primária pretende cumprir. Um zoom local na Região de Coimbra, na figura 32, permite ver a rede primária estruturante que se encontra em geral em zonas de cumeada (a laranja e vermelho), e também as ocupações de vales, representadas a roxo. À escala local, este poderá ser um exemplo de reavaliação da rede existente ou a aplicação de segmentos adicionais para os vales de maior prioridade de intervenção.



**Figura 32** - Ampliação local das formas do terreno (Região de Coimbra)

#### 5.3.4. Aproveitamento económico

Privada de parte do seu coberto vegetal original (ou da sua totalidade em caso de faixas de interrupção de combustível), a rede primária poderá ter outros usos alternativos que sejam fontes de rendimento, substituindo em certa escala os anteriores. Poderá ser tida em conta a manutenção de algumas áreas de matos formados por pequenos arbustos para a instalação de colmeias, de forma a produzir mel. Também o aproveitamento de uma vegetação mais aberta e herbácea permitirá a atividade pecuária, gerando rendimentos ao mesmo tempo que o pastoreio destas áreas contribui

para a sua manutenção, reduzindo os custos relativos a esta. Outro uso poderá ser o aproveitamento turístico destes locais, através da criação de percursos pedestres e de ações de sensibilização ambiental para os valores naturais que boa parte dos troços possuem. Estas atividades e produtos poderiam contribuir também para pagar os custos associados à rede, bem como para a sensibilização das populações e potenciar produtos com denominação de origem controlada típicos destas regiões.

#### **5.3.5. Regime de propriedade e indemnizações**

Deve ser tido em conta o regime de propriedade privado, com uma dimensão média da propriedade frequentemente inferior a 1 hectare para a maioria da área onde se encontra esta rede, com a exceção de algumas matas pertencentes ao Estado Português, como a Mata Nacional de Leiria. Tal é importante de observar pois irá dificultar o processo de indemnizações individuais e a vontade dos proprietários em disponibilizar as suas terras para um objetivo comum, visto que poderão perder uma fonte importante de rendimentos.

## 6. Conclusões

Com a rede aqui obtida, foi dado o passo adicional de garantir a complementaridade entre as duas redes primárias criadas por métodos parecidos, excetuando a definição dos troços potenciais pelos limites das bacias. Esta análise cobriu todo o território de Portugal Continental excetuando as áreas relativas à rede da fase 1, e poderá depois unir os segmentos estruturantes da rede do ICNF com os segmentos do projeto metodológico aqui apresentado. O facto de todo o território continental ter sido analisado não significa que a rede estruturante esteja distribuída igualmente pelo território, uma vez que o objetivo foi a definição de áreas mais prioritárias tendo em conta vários fatores. A rede aqui definida incidu sobretudo sobre a função de proteção das populações e do risco a que estas estão expostas, incluindo mais de 4 milhões de indivíduos, 3 vezes mais que a população potencialmente protegida na rede estruturante do ICNF. A complementaridade entre as duas redes permite um possível ganho económico no futuro que compensa os custos de instalação da rede, pois pode reduzir em grande escala as perdas sociais e económicas causadas pelos incêndios de grandes dimensões, com efeitos devastadores e cuja frequência tem aumentado a par da área ardida total.

A metodologia aqui apresentada e aplicada permitiu identificar os sítios mais importantes para atuar, através de um limite definido do projeto de redimensionamento da rede do ICNF (0.618). Este limite pode ser facilmente mudado para outros limiares, visto que os valores do índice de prioridade foram calculados para todos os segmentos. Assim, a rede é mutável na sua estrutura e na sua distribuição pelo território, havendo a possibilidade de incluir novas variáveis para tornar ainda mais robusto o índice de prioridade integrado; e alterar os valores das ponderações caso seja necessário.

Possibilidades futuras incluem o alargamento da rede a novas regiões tendo em conta alterações da ocupação do solo; novas tendências demográficas ou diferentes condições climáticas em situações de grande risco de incêndio. Uma hipotética criação de uma rede de vales terá a sua implementação facilitada pelo facto de já existir uma rede primária definida principalmente por zonas de cumeada, podendo estes dois tipos de rede conectarem-se entre si em várias localizações e atuando como uma barreira adicional para a propagação do fogo, em caso de a rede primária não ter cumprido as suas funções, ao deixar passar um incêndio de grande severidade.

Existe uma óbvia necessidade de coordenação entre diversos fatores relacionados com o ordenamento e a gestão da paisagem, bem como o seu padrão. Ao criar uma abordagem que integre estes aspetos relativos à compartimentação da paisagem, os custos potenciais a evitar são menores, e as faixas de rede primária mais eficientes. Algumas opções de prevenção que esta sinergia entre fatores permite são:



- O ordenamento do território que deve ser aplicado às paisagens rurais em particular, consistindo na instalação de uma gestão florestal em mosaico, com uma maior heterogeneidade de superfícies, com diferentes ocupações do solo entre si e que atue como uma barreira de proteção e retardamento relativa a incêndios rurais, ao mesmo tempo que contribua para inverter tendências de despovoamento e económicas das áreas de interior.

- O uso de alguns tipos de ocupações do solo pouco favoráveis à propagação de incêndios, como por exemplo áreas associadas a agricultura ou sistemas agro-silvo-pastoris, para uma maior proteção das populações e dos edifícios em que habitam. A instalação de faixas ou parcelas de gestão de combustíveis em áreas contíguas a estas aumenta a distância entre as áreas de maior risco e compartimenta a paisagem, circunscrevendo os incêndios a uma área limitada.

- A compartimentação da paisagem pode também ser conseguida pela existência de descontinuidades na paisagem, sejam estas naturais (por exemplo, rios ou afloramentos rochosos) ou artificiais (albufeiras; rede de autoestradas ou áreas associadas a instalações elétricas ou eólicas). O aproveitamento destas áreas para a instalação de rede primária nas suas proximidades é bastante proveitoso tanto ao nível das acessibilidades, que são bastante facilitadas; e também ao nível do impacto paisagístico que será baixo ao aproveitar algumas destas áreas.

- A rede secundária de faixas de gestão de combustível a cargo da EDP, que está associada à distribuição de energia elétrica. Estas faixas são muito estreitas e tem localizações que não atendem à topografia e padrões de ocupação do solo. Com base nestas premissas, esta rede deve ser revista e articulada com a rede primária de FGC, relocizando as áreas de gestão de combustível, de modo a alocar alguns dos custos anuais da rede que a EDP tem a seu cargo para a construção e manutenção das duas redes primárias estruturantes definidas, permitindo que a rede de FGC tenha uma menor extensão linear e faixas mais largas, mantendo a área total de gestão de combustível. Esta componente de análise à rede secundária foi realizada pelo CEF e pelo CEABN, no qual o autor deste texto participou. Portanto, o processo futuro de substituir a rede secundária de FGC pela rede primária é um ponto válido de discussão.

## 7. Referências Bibliográficas

- Agee, J.K., Bahro, B.B., Finney, M.A., Omi, P.N., Sapsis D.B., Skinner, C.N., van Wagtendonk, J.W., Weatherspoon, C.P., 2000. *The use of shaded fuelbreaks in landscape fire management*. Forest Ecology and Management 127, 55-66.
- Agee, J.K., Skinner C.N., 2005. *Basic principles of forest fuel reduction treatments*. Forest Ecology and Management, 211, 83-96.
- AHP-OS, 2019a. AHP Priority Calculator, author: Klaus D. Goepel, *BPMSG*. Disponível em: [https://bpmsg.com/academic/ahp\\_calc.php?n=5&t=AHP+Temas+sem+custos&c\[0\]=Fogo&c\[1\]=Combustivel&c\[2\]=Risco+Popula%C3%A7%C3%A3o&c\[3\]=Valor+economico&c\[4\]=Valor+ecologico](https://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php?n=5&t=AHP+Temas+sem+custos&c[0]=Fogo&c[1]=Combustivel&c[2]=Risco+Popula%C3%A7%C3%A3o&c[3]=Valor+economico&c[4]=Valor+ecologico). Consultado em julho de 2019.
- AHP-OS, 2019b. AHP Priority Calculator, author: Klaus D. Goepel, *BPMSG*. Disponível em: [https://bpmsg.com/academic/ahp\\_calc.php?n=4&t=AHP+Fogos&c\[0\]=Area+ardida+atravessamento&c\[1\]=Area+ardida+buffer&c\[2\]=Ignicoes+buffer&c\[3\]=Orienta%C3%A7%C3%A3o+ao+vento+FWI90](https://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php?n=4&t=AHP+Fogos&c[0]=Area+ardida+atravessamento&c[1]=Area+ardida+buffer&c[2]=Ignicoes+buffer&c[3]=Orienta%C3%A7%C3%A3o+ao+vento+FWI90). Consultado em julho de 2019.
- Ascoli, D., Russo, L., Giannino, F., Siettos, C., Moreira, F., 2018. *Firebreak and Fuelbreak*. In: Manzello, S.L. (Ed.), *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*. Springer.
- Autoridade Florestal Nacional, 2012. *Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI) – Guia Técnico*. Autoridade Florestal Nacional.
- Bardossy, A., Bogardi, I., Duckstein, L., 1985. *Composite programming as an extension of compromise programming*. In: *Mathematics of Multiple Objective Optimization*, P. Serfini, Ed. Vienna, Austria: Springer-Verlag, 375–408.
- Barros, A., Pereira, J., Lund, U., 2011. *Identifying geographical patterns of wildfire orientation: a watershed-based analysis*. Forest Ecology and Management 264, 98-107.
- Caetano, M., Marcelino, F., Igreja, C., Girão, I., 2018. *Estatísticas e dinâmicas territoriais em Portugal Continental 1995-2007-2010-2015 com base na Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS)*. Relatório Técnico. Direção-Geral do Território (DGT).
- CAOP, 2018. Carta Administrativa Oficial de Portugal - Versão 2018. Disponível em: [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/cartografia/carta\\_administrativa\\_oficial\\_de\\_portugal\\_caop/caop\\_\\_download\\_/carta\\_administrativa\\_oficial\\_de\\_portugal\\_\\_\\_versao\\_2018\\_\\_em\\_vigor](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/carta_administrativa_oficial_de_portugal_caop/caop__download_/carta_administrativa_oficial_de_portugal___versao_2018__em_vigor). Consultado em setembro de 2019.

CEF, 2018. *Projeto de Redimensionamento otimizado da Rede Primária de Faixas de Gestão de Combustíveis proposta pelo ICNF - Proposta preliminar*. Laboratório de Pirogeografia.

Comissão Técnica Independente, 2017. *Análise e apuramento dos factos relativos aos incêndios que ocorreram em Pedrogão Grande, Castanheira de Pera, Ansião, Alvaiázere, Figueiró dos Vinhos, Arganil, Góis, Penela, Pampilhosa da Serra, Oleiros e Sertã, entre 17 e 24 de junho de 2017*.

Assembleia da República. Lisboa. 184 pp.

Comissão Técnica Independente, Guerreiro J., Fonseca C., Salgueiro A., Fernandes P., Lopez Iglésias E., de Neufville R., Mateus F., Castellnou Ribau M., Sande Silva J., Moura J. M., Castro Rego F. e Caldeira D. N. - Coords., 2018. *Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental. Relatório Final*. Comissão Técnica Independente. Assembleia da República. Lisboa. 274 pp

Couto, M.A., Sánchez, G., Tavares, C.D., Barceló, A.M., Nunes, L.F., Herráez, C.F., Pires, V., Marques, J., Mendes, L., Chazarra, A., Cunha, S., Mendes, M., Neto, J., Silva, A., 2011. *Atlas Climático Ibérico*. Instituto de Meteorologia de Portugal e Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (eds), 80 pp

DaCamara, C., Calado, T., Ermida, S., Trigo, I., Amraoui, M., Turkman, K., 2014. *Calibration of the Fire Weather Index over Mediterranean Europe based on fire activity retrieved from MSG satellite imagery*. International Journal of Wildland Fire, 23, 945-958.

Decreto-Lei n.º 124/2006. D.R. n.º 123, Série I-A de 2006-06-28. Disponível em:

[http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei\\_mostra\\_articulado.php?nid=1931&tabela=lei\\_velhas&nversao=1&so\\_miolo=](http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1931&tabela=lei_velhas&nversao=1&so_miolo=) , 4586-4599. Consultado em outubro de 2019.

DGF, 2000. *Florestas de Portugal*. Lisboa: Direcção-Geral das Florestas.

Direcção-Geral do Território, 2019. COS2015 v1.0 Continente. Disponível em:

<http://mapas.dgterritorio.pt/wms-inspire/cos2015v1>. Consultado em Julho de 2019.

EFFIS, 2018. *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2017*. Joint Research Centre technical reports, European Commission.

ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

European Digital Elevation Model (EU-DEM), version 1.1 (2016). European Environment Agency (EEA) in the frame of the EU Copernicus programme.

Fernandes, P.M., Botelho, H.S., 2003. *A review of prescribed burning effectiveness in fire hazard reduction*. International Journal of Wildland Fire, 2003, 12, 117-128.

Fernandes, P.M., 2007. *Entender por que arde tanto a floresta em Portugal*. In: Silva, J.S. (Ed.), *Proteger a floresta - Incêndios, pragas e doenças*. Público. 69-91.

Fernandes, P.M., Davies, G.M., Ascoli, D., Fernández, C., Moreira, F., Rigolot, E., Stoof, C.R., Vega, J.A., Molina, D., 2013. *Prescribed burning in Southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape*. Front Ecol Environ 2013, 11 (Online Issue 1): e4-e14.

Finney, M., 2007. *A computational method for optimizing fuel treatment options*. In: Andrews, P., Butler, B., (Eds.), *Fuels management: How to measure success: Conference Proceedings 28-30 March 2006 Portland Oregon*. USDA Forest Service. Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, pp. 107-123.

Geofabrik, 2019. Geofabrik Download Server. Disponível em: <http://download.geofabrik.de/europe/portugal.html>. Consultado em junho de 2019.

Gilbert, E.N., Pollak, H.O., 1968. *Steiner minimal trees*. SIAM Journal on Applied Mathematics, 16, 1-29.

Guiomar, N., Ramalho, C., Pinho, J., Paulo, S., Martins, J., 2006. *Análise de padrões espaciais em SIG para a implementação de faixas e mosaicos de gestão de combustíveis florestais – Contributos metodológicos para a definição da rede de defesa da floresta contra incêndios*. Esig 2006.

ICNF, 2013. *IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa, 34 pp.

ICNF, 2014. *Manual de rede primária - regras técnicas para o planeamento da rede primária de faixas de gestão de combustível*. Divisão de Proteção Florestal e Valorização de Áreas Públicas.

ICNF, 2018. Rede Primária de Faixas de Gestão de Combustível. Disponível em: <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/cartografia-dfci>. Consultado em setembro de 2019.

ICNF, 2019a. Cartografia DFCI – Rede Primária de Faixa de Gestão de Combustível. Disponível em: <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/cartografia-dfci>. Consultado em setembro de 2019,

ICNF, 2019b. Informação Geográfica ICNF. Disponível em: <http://geocatalogo.icnf.pt/>. Consultado em julho de 2019.

ICNF, 2019c. *IFN6 – Principais resultados – relatório sumário*. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa, 34 pp.

ICNF, 2019d. Incêndios Rurais. Disponível em: <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc>. Consultado em setembro de 2019.

INE, 2011. Censos 2011. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa. Disponível em: [https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos\\_subseccao](https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos_subseccao). Consultado em setembro de 2019.

IPMA, 2008. *Boletim Climatológico Anual – 2008*. 9 pp, Instituto de Meteorologia, I.P. Lisboa.

Marques, T.S., 2003. *Dinâmicas territoriais e as relações urbano-rural*. Revista da Faculdade de Letras – Geografia, I série, vol.XIX, Porto, 2003, 507-521.

Mather, A.S., Needle, C.L., 1998. *The forest transition: a theoretical basis*. Area 30, 117-124.

Mather, A.S., Pereira, J.M.C., 2006. *A transição florestal e o fogo em Portugal*. In: Pereira, J.S., Pereira, J.M.C., Rego, F.C., Silva, J.M.N., da Silva, T.P. (Eds.), *Incêndios florestais em Portugal: caracterização impactes e prevenção*. ISA Press, Lisboa, 257-286.

Miranda, P., Coelho, F.E.S., Tomé, A.R., Valente, M.A., Carvalho, A., Pires, C., Pires, H.O., Pires, V.C., Ramalho, C., 2002. *20<sup>th</sup> century portuguese climate and climate scenarios*. In: *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*. Santos, F.D., Forbes, K., Moira, R. (Eds.). pp 23-83. Gradiva, Lisboa.

Nunes, M., Vasconcelos, M., Pereira, J., Dasgupta, N., Alldredge, R., Rego, F., 2005. *Land cover type and fire in Portugal: do fires burn land cover selectively?* Landscape Ecology 20 (6), 661-673.

Oliveira, T., Barros, A.M.G., Ager, A.A., Fernandes, P.M., 2016. *Assessing the effect of a fuel break network to reduce burnt area and wildfire risk transmission*. International Journal of Wildland Fire (2016), 25, 619-632.

Oliveira, T., Guiomar, N., Baptista, F.O., Pereira, J.M.C., Claro, J., 2017. *Is Portugal's forest transition going up in smoke?* Land Use Policy 66 (2017), 214-226.

Pausas, J.G. e Fernández-Muñoz, S., 2012. *Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime*. Climatic Change 110:2, 15-26.

Pereira, J.M.C., Duckstein, L., 1993. *A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation*. International Journal of Geographical Information Science, 7:5, 407-424.

Pereira, J.M.C., Santos, M., 2003. *Áreas Queimadas e Risco de Incêndio em Portugal*. Direcção-Geral das Florestas. Lisboa.

- Pereira, J.M.C., Carreiras, J.M.B., Silva, J.M.N., Vasconcelos, M.J., 2006. *Alguns Conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal*. In: Pereira, J.S., Pereira, J.M.C., Rego, F.C., Silva, J.M.N., da Silva, T.P. (Eds.), *Incêndios florestais em Portugal: caracterização impactes e prevenção*. ISA Press, Lisboa, 133-161.
- Pereira, M., Trigo, R., da Câmara, C., Pereira, J., Leite, S., 2005. *Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal*. *Agricultural and Forest Meteorology* 129 (1-2), 11-25.
- Pinho, J.R., Louro, G., Paulo, S., 2006. *Recuperação das Áreas Ardidas em Portugal e a Gestão do Fogo: a experiência da Equipa de Reflorestação (2004-2005)*. In: Pereira, J.S., Pereira, J.M.C., Rego, F.C., Silva, J.M.N., da Silva, T.P. (Eds.), *Incêndios florestais em Portugal: caracterização impactes e prevenção*. ISA Press, Lisboa, 467-494.
- Pinho, J., 2008. *Organização do território e defesa da floresta contra incêndios*. In: Moreira, M.B., Coelho, J.S. (coord.), *A Silvopastorícia na Prevenção dos Fogos Rurais*. Isa Press, Lisboa, 31-47.
- Prodanovic, P., Simonovic, S.P., 2003. *Fuzzy Compromise Programming for Group Decision Making*. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, IEEE Transactions on. 33. 358 - 365.
- Saaty, T. L. (1977). *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.
- Silva, T. 2004. *Estimativa das emissões atmosféricas originadas por incêndios em Portugal continental ao longo do período entre 1990 e 1999*. Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. 86pp.
- Strauss, D., Bednar, L. & Mees, R., 1989. *Do one percent of the fires cause ninety-nine percent of the damage?* *Forest Science*, 35, 319-328.
- TomTom, 2019. Disponível em: [https://www.tomtom.com/pt\\_pt/drive/maps-services/shop/travel-map/iberia](https://www.tomtom.com/pt_pt/drive/maps-services/shop/travel-map/iberia). Consultado em julho de 2019.
- Ventura e Vasconcelos, 2006. *O Fogo como Processo Físico-Químico e Ecológico*. In: Pereira, J.S., Pereira, J.M.C., Rego, F.C., Silva, J.M.N., da Silva, T.P. (Eds.), *Incêndios florestais em Portugal: caracterização impactes e prevenção*. ISA Press, Lisboa, 93-113.
- Weatherspoon, C., Skinner, C., 1996. *Landscape-level strategies for forest fuel management*. *Sierra Nevada Ecosystem Project: Final Report to Congress* 2, 1471-1492.
- Weiss, A., 2001, July. *Topographic position and landforms analysis*. In Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA (Vol. 200).
- Zeleny, M., 1982. *Multiple Criteria Decision Making*. Mc-Graw Hill Book Company: New York, USA.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Classificação das Formas do terreno (Landforms)

Classe	Categoria	Área (ha)	Área ocupada - 125 m de rede primária (%)
Vales	<i>Canyons</i>	835	1,4
	<i>Midslope drainages, shallow valley</i>	151	0,3
	<i>Upland drainages, headwaters</i>	30	0,1
	<i>U-shape valleys</i>	1239	2,1
Zonas planas	<i>Plains</i>	20425	34,1
Encostas	<i>Open slopes</i>	6730	11,2
	<i>Upper slopes</i>	9189	15,3
Cumeadas	<i>Local ridges, hills in valleys</i>	276	0,5
	<i>Midslope ridges, small hills in plains</i>	6120	10,2
	<i>Mountain tops, high ridges</i>	14909	24,9
<b>Total</b>		59904	100,0



## ANEXO 2

### Classes e megaclasses da COS 2015

Código (Nível 5)	Classe (Nível 5)	Megaclasses
1.1.1.00.0	Tecido urbano contínuo	Territórios Artificializados
1.1.2.00.0	Tecido urbano descontínuo	
1.2.1.00.0	Indústria, comércio e equipamentos gerais	
1.2.2.00.0	Rede viária e espaços associados	
1.2.3.00.0	Áreas portuárias	
1.2.4.00.0	Aeroportos e aeródromos	
1.3.1.00.0	Áreas de extração de inertes	
1.3.2.00.0	Áreas de deposição de resíduos	
1.3.3.00.0	Áreas em construção	
1.4.1.00.0	Espços verdes urbanos	
1.4.2.01.0	Campos de golfe	
1.4.2.02.0	Outras instalações desportivas e equipamentos de lazer	
1.4.2.03.0	Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	
2.1.0.00.0	Culturas temporárias de sequeiro e regadio	Agricultura
2.1.3.01.1	Arrozais	
2.2.1.00.0	Vinhas	
2.2.2.00.0	Pomares	
2.2.3.00.0	Olivais	
2.3.1.01.1	Pastagens permanentes	Pastagens
2.4.1.00.0	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	Agricultura
2.4.2.01.1	Sistemas culturais e parcelares complexos	
2.4.3.01.1	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	
2.4.4.00.1	SAF de sobreiro	Sistemas agro-florestais (SAF)
2.4.4.00.2	SAF de azinheira	
2.4.4.00.3	SAF de outros carvalhos	
2.4.4.00.4	SAF de pinheiro manso	
2.4.4.00.5	SAF de outras espécies	
2.4.4.00.6	SAF de sobreiro com azinheira	
2.4.4.00.7	SAF de outras misturas	
3.1.1.00.1	Florestas de sobreiro	Florestas
3.1.1.00.2	Florestas de azinheira	
3.1.1.00.3	Florestas de outros carvalhos	
3.1.1.00.4	Florestas de castanheiro	
3.1.1.00.5	Florestas de eucalipto	
3.1.1.00.6	Florestas de espécies invasoras	
3.1.1.00.7	Florestas de outras folhosas	
3.1.2.00.1	Florestas de pinheiro bravo	
3.1.2.00.2	Florestas de pinheiro manso	
3.1.2.00.3	Florestas de outras resinosas	
3.2.1.01.1	Vegetação herbácea natural	Pastagens
3.2.2.00.0	Matos	Matos

3.3.0.00.0	Espaços descobertos ou com pouca vegetação	Espaços descobertos ou com pouca vegetação
4.0.0.00.0	Zonas húmidas	Zonas húmidas
5.1.1.00.0	Cursos de água naturais	Corpos de água
5.1.2.00.0	Planos de água	
5.2.1.01.1	Lagoas costeiras	
5.2.2.01.1	Desembocaduras fluviais	
5.2.3.01.1	Oceano	

### ANEXO 3

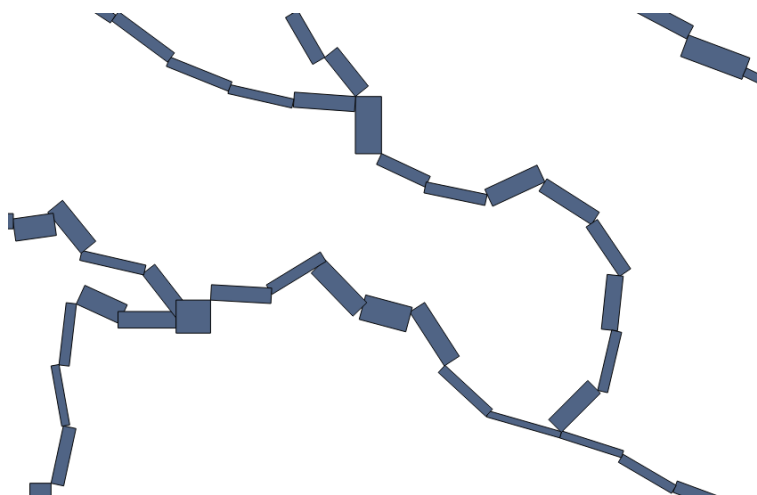
Seleccção das classes de estradas do Open Street Maps escolhidas para construção de variável

Classes	Classe escolhida para variável (Sim/Não)
Bridleway	Não
Cycleway	Não
Footway	Não
Living_street	Não
Motorway	Sim
Motorway_link	Sim
Path	Não
Pedestrian	Não
Primary	Sim
Primary_link	Sim
Residential	Não
Secondary	Sim
Secondary_link	Sim
Service	Não
Steps	Não
Tertiary	Sim
Tertiary_link	Sim
Track	Sim
Track_grade1	Sim
Track_grade2	Sim
Track_grade3	Sim
Track_grade4	Não
Track_grade5	Não
Trunk	Sim
Trunk_link	Sim
Unclassified	Sim
Unknown	Não

## ANEXO 4

### Variável 4 (Vag) – Procedimento detalhado

Em primeiro lugar foi feita a divisão dos segmentos em partes, não podendo ter mais de 2 quilômetros cada um. Depois foram criadas caixas delimitadoras mínimas orientadas (*oriented minimum bounding boxes*), que calculam retângulos orientados de área mínima que cobrem cada atributo de dado vetor, neste caso o ficheiro dos segmentos, com um exemplo na seguinte figura:



Caixas delimitadoras mínimas orientadas.

As caixas delimitadoras foram depois convertidas em linhas, com o objetivo final de ter apenas os dois lados de comprimento maior de cada caixa e eliminar os restantes, tendo a orientação da *bounding box*. Esses segmentos foram calculados através da atribuição de valores binários 0/1, com a seguinte expressão:

*(WHEN "Comprimento da linha" < "Comprimento da bounding box" THEN 1) ELSE 0*

Os valores 0 serão aqueles a guardar, pois são os dos lados maiores do retângulo. Existem 53208 linhas.

Foi depois calculada a orientação para cada linha, com valores entre -180° e 180°, usando a seguinte fórmula:

$$\text{degrees}\left(\text{atan2}\left(y_{at(0)} - y_{at(1)}, x_{at(0)} - x_{at(1)}\right)\right)$$

À orientação foi aplicada uma fórmula de correção, eliminando os valores negativos, ficando estes agora a variar entre 0° e 180°:

*WHEN "ângulo" ≤ 0 THEN "180 + ângulo" ELSE "ângulo"*

Cada linha foi transformada num ponto, numa posição central, exatamente a meio do segmento. Tal serve para uma comparação com os pontos originais com os valores de orientação do vento. Foram depois adicionados os valores do *raster* com os valores da orientação do vento dominante aos pontos.

Será depois calculada a diferença dos valores da orientação das caixas delimitadoras com os valores do *raster*, conhecendo o ângulo relativo entre estes:

$$\text{ângulo relativo} = (\text{abs}(\text{ângulo} - \text{valor do raster}))$$

Corrigindo os valores para valores entre 0° e 90°:

$$\text{IF } \text{ângulo relativo} > 90, \quad \text{THEN } \text{correção} = 180 - \text{ângulo relativo}$$

Por fim, foi calculado o valor médio do ângulo relativo das caixas de cada um dos 5730 troços. Será este o valor final, variando entre 0° e 90° e permitindo conhecer quais os segmentos de rede mais suscetíveis ao regime de ventos nos dias de elevado risco de incêndio.

## ANEXO 5

### Programação Composta aplicada à rede primária FGC

A programação composta é, como já foi dito, uma metodologia de análise multicritério que é uma variação por níveis hierárquicos da programação compromisso (Bardossy *et al.*, 1985). Cada alternativa é um segmento de rede primária FGC e cada critério uma variável a indexar ao segmento.

O conjunto inicial de alternativas (segmentos de rede primária) é o seguinte (Zeleny, 1982):

$$X = \{x^1, x^2, \dots, x^m\}$$

Cada segmento tem  $n$  critérios de avaliação (temas/variáveis), como o dano potencial florestal na área de influência ou a percentagem da área de influência ardida, sendo o  $k^{\text{ésimo}}$  segmento o seguinte vetor, em que  $k = 1, \dots, m$  é o nº do segmento e  $i = 1, \dots, n$  o critério a avaliar:

$$x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k) \quad k = 1, \dots, m$$

Logo,  $x^k$  é um vetor de  $K$  números para cada segmento, definindo uma alternativa multicritério, e ao considerar o  $i^{\text{ésimo}}$  critério, o conjunto  $X$  produz um vetor de  $K$  números que representam todas as variáveis/temas:

$$x_i = (x_i^1, \dots, x_i^K)$$

Entre os valores dos segmentos há um valor ideal, sendo conjunto de todos os valores ideais individuais (ponto ideal) a seguinte alternativa multicritério, com o melhor valor possível para cada critério:

$$x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$$

Todos os segmentos são avaliados com base na sua distância multidimensional ao ponto ideal, de acordo com uma métrica de distância, tendo sido escolhida uma família de métricas de distância (Minkowski). A equação seguinte mede a distância do segmento  $k$  ao ponto ideal, de acordo com o parâmetro de distância  $p$  ( $1 \leq p \leq \infty$ ); os critérios  $i$  a  $n$  e o vetor de pesos dos critérios de avaliação  $\lambda = \lambda_1, \dots, \lambda_n$  (Zeleny, 1982):

$$L_p(\lambda, k) = \left[ \sum_{i=1}^n \lambda_i^p (1 - d_i^k)^p \right]^{\frac{1}{p}}$$

É feita em seguida a normalização para uma gama de valores [0-1], onde  $x_i^*$  e  $x_{i*}$  são valores-âncora, respetivamente o mais desejável e o menos desejável para cada critério de avaliação  $i$  para todos os segmentos, quando o valor mais desejável é um máximo:

$$d_i^k = \frac{x_i^k - x_{i*}}{x_i^* - x_{i*}}$$

## ANEXO 6

**Intervalos de normalização e valores absolutos (mínimo; máximo; média e mediana) por variável**

Variável (com número e código respetivos)	Valores absolutos				Intervalo de normalização		Unidades
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Máximo	
1 - Área ardida acumulada de atravessamento - Atrav	0,0	4791,2	178,6	96167,0	0	80000	ha
2 - Percentagem da área de influência ardida - Pard	0,0	55,3	25,9	376,8	0	300	%
3 - Densidade de ignições na área de influência - Ign	0,0	0,0	0,0	0,9	0	0.175	ignições/ha
4 - Orientação em relação ao vento dominante nos dias de alto risco - Vag	0,0	44,2	44,1	89,7	0	90	graus
5 - Percentagem de coberto combustível na área de influência - Comb	0,4	50,9	54,6	96,8	0	96	%
6 - Percentagem da área de influência com coberto combustível a menos de 500 m de áreas urbanas - Urb	0,0	15,4	10,4	61,3	0	51	%
7 - Dano potencial florestal na área de influência - Dano	0,2	56,5	42,9	261,4	0	210	€/ha
8 - Valor de conservação da floresta na área de influência - Cons	0,0	19,2	10,7	157,8	0	75	€/ha
9 - Percentagem da área de influência classificada - Class	0,0	30,8	11,0	100,0	0	100	%
10 - Custo de indemnização - CosInd	0,0	0,2	0,1	1,0			valores 0-1
11 - Custo de execução e manutenção - CosExMa	0,0	422,4	386,0	1416,9			€/ha



## ANEXO 7

### Fórmulas de cálculo dos sub-índices de prioridade integrada

Tema **Fogo**:

$$Fogo = [0,21 * (1 - Atrav_{Norm})] + [0,42 * (1 - Pard_{Norm})] + [0,17 * (1 - Ign_{Norm})] + [0,2 * (1 - Vag_{Norm})]$$

$$Fogo_{Norm} = \frac{Fogo}{Máximo (Fogo)}$$

Tema **Combustível**:

$$Comb = \sqrt{1^2 * (1 - Comb_{Norm})^2}$$

Tema **Perigo para a População**:

$$Pop = \sqrt{1^2 * (1 - Urb_{Norm})^2}$$

Tema **Valor económico**:

$$ValEcon = \sqrt{1^2 * (1 - Dano_{Norm})^2}$$

Tema **Valor ecológico**:

$$ValEcol = [0,5 * (1 - Class_{Norm})] + [0,5 * (1 - Cons_{Norm})]$$

$$ValEcol_{Norm} = \frac{ValEcol}{Máximo (ValEcol)}$$

**Legenda:**

*Norm* – Valor da variável/ tema após normalização

*Máximo (...)* – Valor numérico do segmento com valor máximo para dado tema

*Atrav* – Variável nº 1: Área ardida acumulada de atravessamento

*Pard* – Variável nº 2: Percentagem de área de influência ardida

*Ign* – Variável nº 3: Densidade de ignição na área de influência

*Vag* – Variável nº 4: Orientação em relação ao vento dominante em dias de alto risco

*Comb* – Variável nº 5: Percentagem de coberto combustível na área de influência

*Urb* – Variável nº 6: Percentagem da área de influência com coberto combustível a < 500 metros de áreas urbanas

*Dano* – Variável nº 7: Dano potencial florestal na área de influência

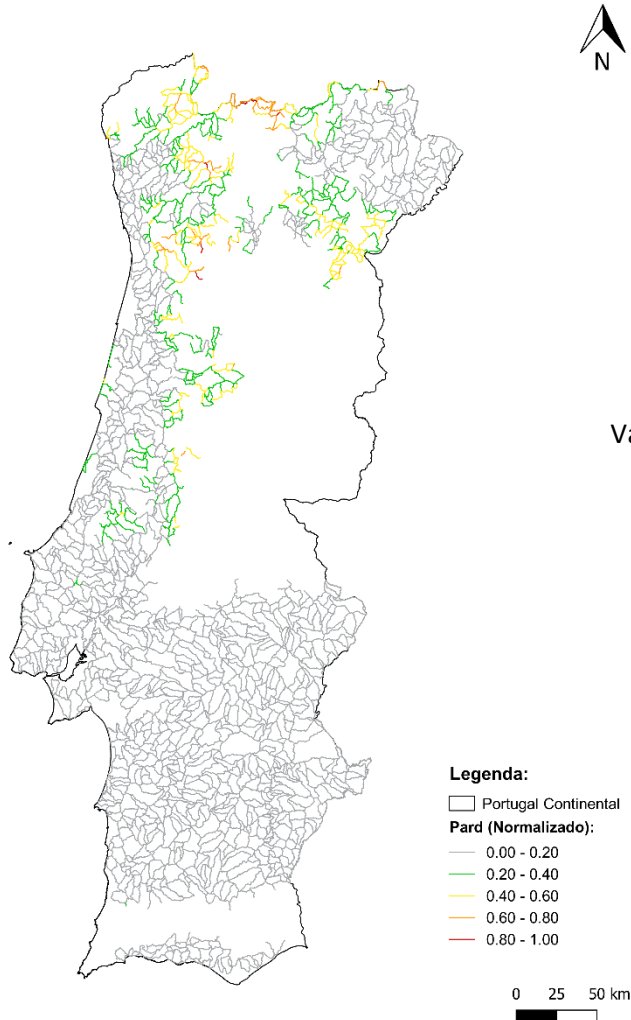
*Cons* – Variável nº 8: Valor de conservação da floresta na área de influência

*Class* – Variável nº 9: Percentagem da área de influência classificada

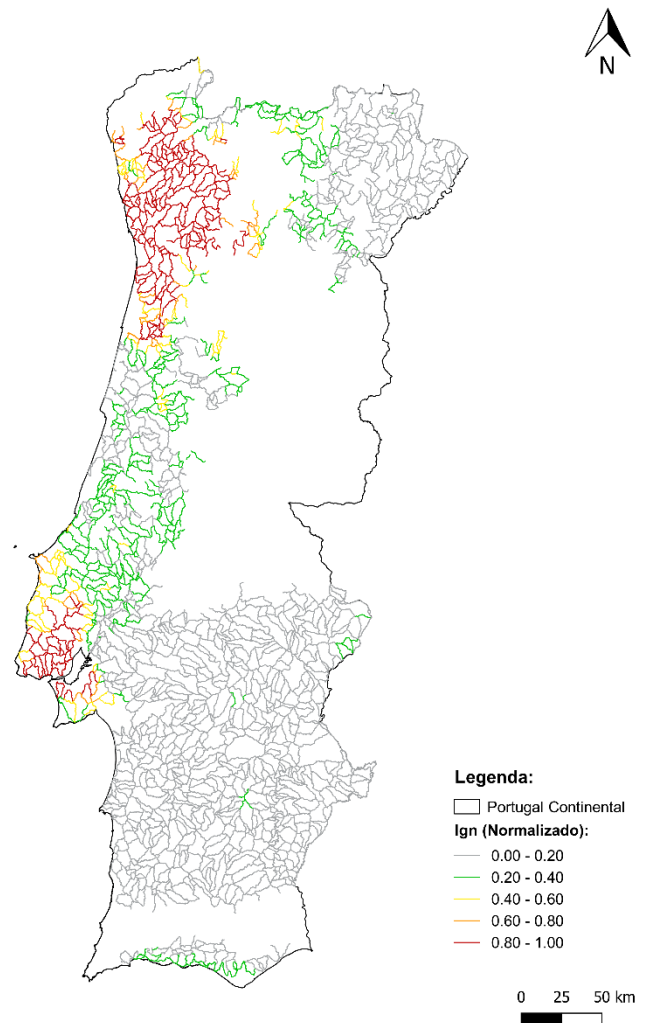
## ANEXO 8

### Mapas das variáveis e dos temas (fase 2 – não incluídas nos Resultados)

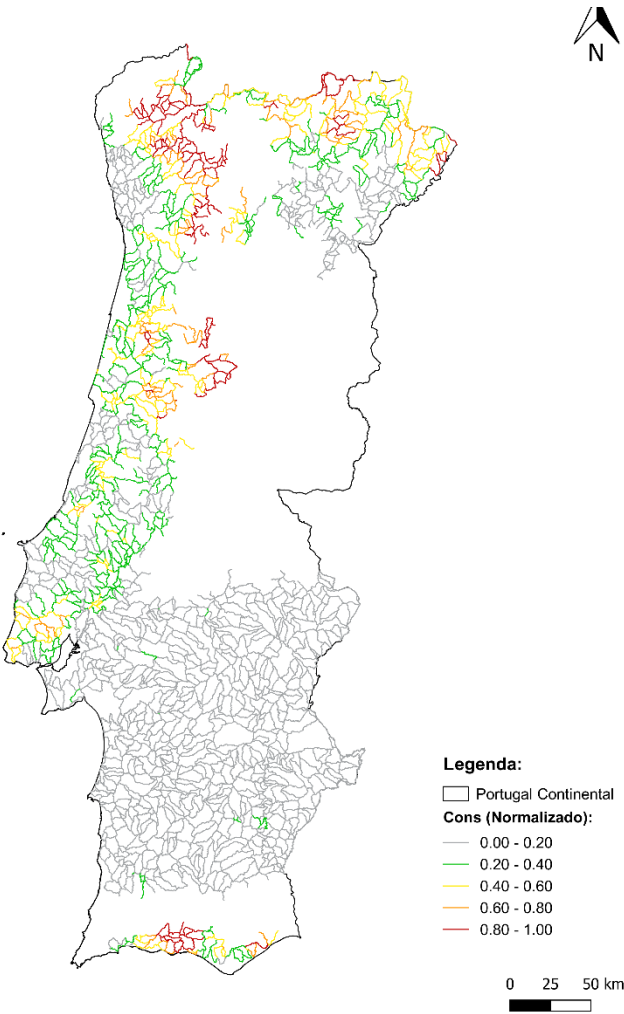
Variável 2 – Percentagem de área de influência ardida (Pard)



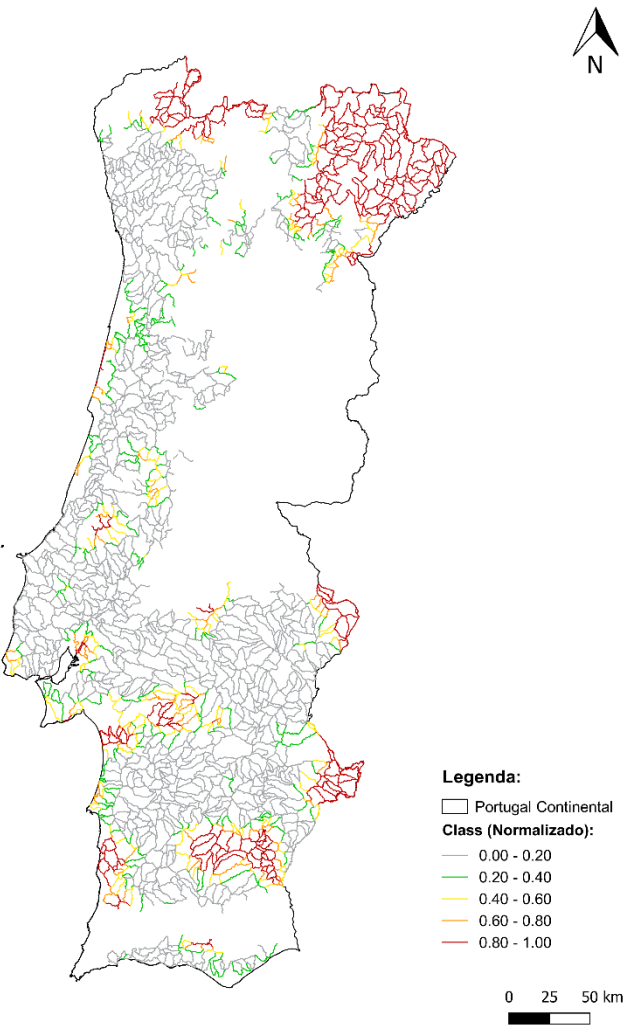
Variável 3 – Densidade de ignição na área de influência (Ign)



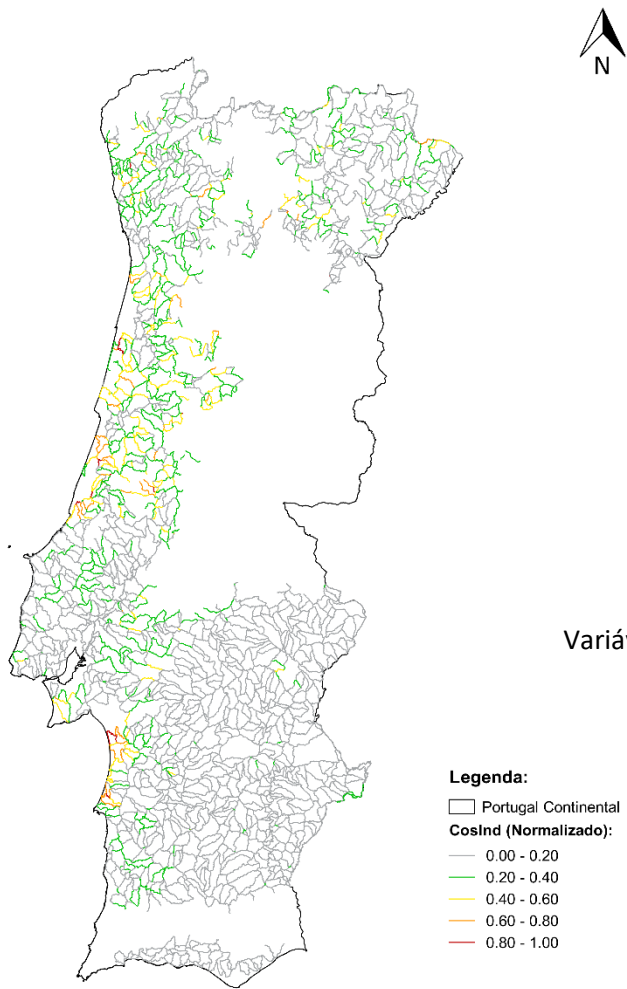
Variável 8 – Valor de conservação da floresta na área de influência (Cons)



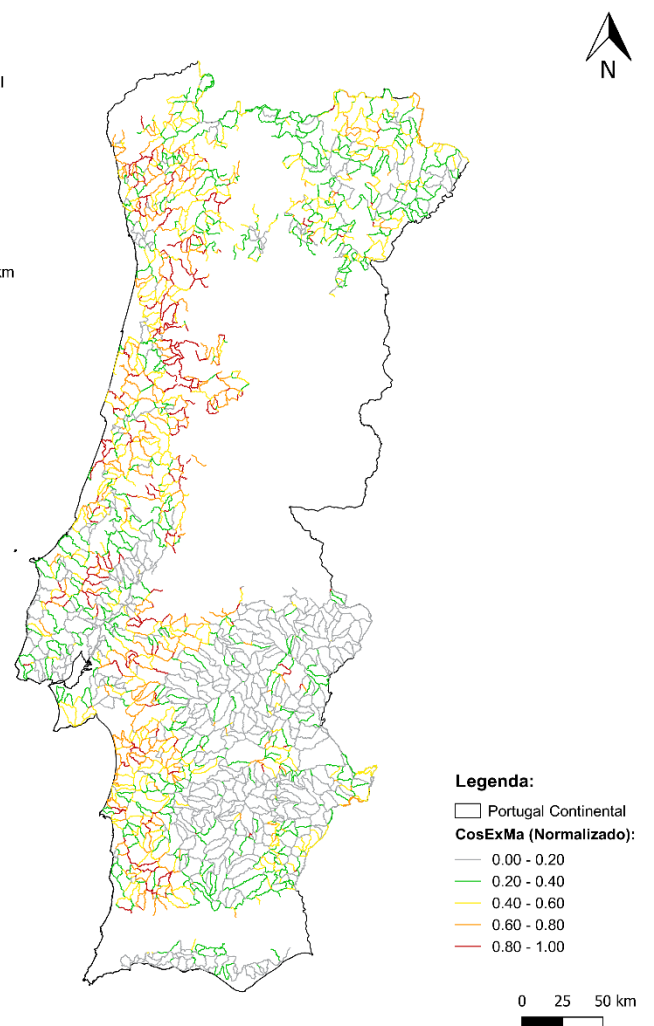
Variável 9 – Percentagem de área de influência classificada (Class)



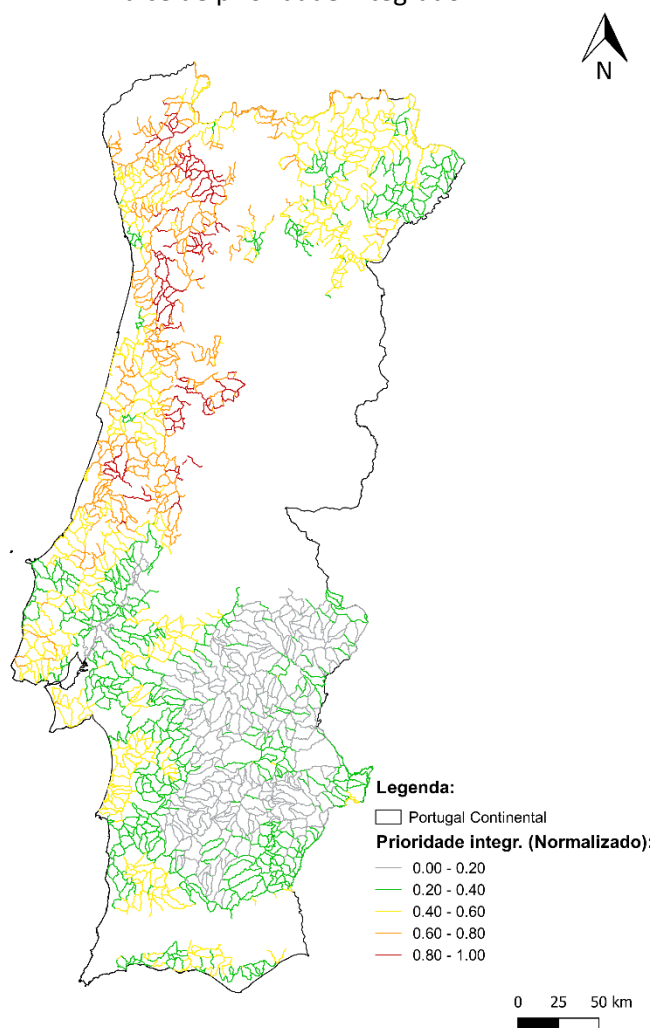
## Variável 10 – Custo de indemnização (CosInd)



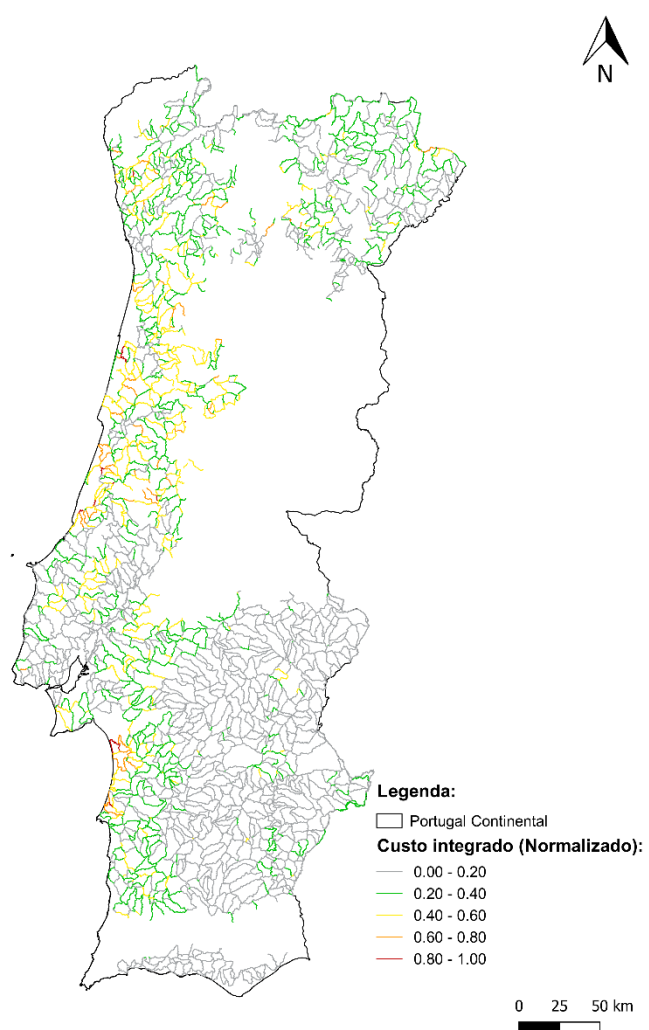
## Variável 11 – Custo de execução e manutenção (CosExMa)



## Índice de prioridade integrado



## Índice de custo integrado



## ANEXO 9

### Classes da COS 2015 por área de ocupação da rede Primária Estruturante da Fase 2

ID	Megaclasse	Classe	Área (ha)	Percentagem (%)
3.1.1.00.5	Florestas	Florestas de eucalipto	17752,98	36,11
3.1.2.00.1	Florestas	Florestas de pinheiro bravo	10526,20	21,41
3.2.2.00.0	Matos	Matos	8761,77	17,82
2.1.0.00.0	Agricultura	Culturas temporárias de sequeiro e regadio	2901,62	5,90
2.4.2.01.1	Agricultura	Sistemas culturais e parcelares complexos	2473,22	5,03
3.1.1.00.7	Florestas	Florestas de outras folhosas	1472,59	2,99
2.4.3.01.1	Agricultura	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	786,92	1,60
3.1.1.00.3	Florestas	Florestas de outros carvalhos	744,86	1,51
2.2.3.00.0	Agricultura	Olivais	738,01	1,50
2.2.1.00.0	Agricultura	Vinhas	607,59	1,24
2.4.1.00.0	Agricultura	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	584,04	1,19
3.3.0.00.0	Espaços descobertos ou com vegetação esparsa	Espaços descobertos ou com pouca vegetação	407,21	0,83
3.2.1.01.1	Pastagens	Vegetação herbácea natural	385,21	0,78
3.1.1.00.4	Florestas	Florestas de castanheiro	244,14	0,50
3.1.2.00.3	Florestas	Florestas de outras resinosas	208,43	0,42
3.1.1.00.6	Florestas	Florestas de espécies invasoras	206,88	0,42
2.2.2.00.0	Agricultura	Pomares	150,63	0,31
3.1.2.00.2	Florestas	Florestas de pinheiro manso	74,96	0,15
2.3.1.01.1	Pastagens	Pastagens permanentes	60,15	0,12
2.1.3.01.1	Agricultura	Arrozais	50,13	0,10
3.1.1.00.1	Florestas	Florestas de sobreiro	28,85	0,06
3.1.1.00.2	Florestas	Florestas de azinheira	2,64	0,01
2.4.4.00.1	Sistemas agro-florestais	Sistemas agro-florestais de sobreiro	0,04	0,00
	Total	Total	49169,05	100,00